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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (33)

2017 – ГОД НАУКИ

ВИТЕБСК 2017

УДК 67/68
ББК 37.2
В 38

Вестник Витебского государственного технологического университета. № 2 (33). УО «ВГТУ»

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».

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.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 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

Гафуров Ж.К., Мардонов Б., Гафуров К., Рахматов С.Н.
Упруго и упруго-пластическое деформирование волокон при осевом нагружении пряжи 7

Зимина Е.Л., Коган А.Г.
Исследование процесса резания текстильных материалов 14

Казарновская Г.В.
Проектирование рисунков переплетений для ремизных и жаккардовых тканей смешанных структур 21

Кириллов А.Г., Сакевич В.Н.
Изготовление шкал аналоговых электроизмерительных приборов с нелинейным измерительным механизмом методом лазерной гравировки 29

Костин П.А., Замостоцкий Е.Г.
Исследование электромагнитных свойств трикотажных полотен с комбинированными электропроводящими нитями и пряжей 37

Пятов В.В., Голубев А.Н., Ширяев П.С.
Методика проектирования шнековых машин для экструзии пластичных сред 45

Пятов В.В., Голубев А.Н., Ширяев П.С.
Методика исследования технологических свойств материалов, формуемых экструзией 53

Скобова Н.В.
Сравнительный анализ вискозной пряжи безверетенных способов прядения трикотажного назначения 60

Сынюк О.Н., Кулик Т.И.
Расчет основных параметров устройства для переработки полимерных отходов 68

Чарковский А.В., Гончаров В.А.
Использование мультифиламентных нитей в чулочно-носочном производстве 78

Химическая технология и экология

Ковчур А.С., Шелег В.К., Ковчур С.Г., Гречаников А.В., Манак П.И., Захаренко А.В.
Разработка технологии производства терракотовой керамической плитки с использованием техногенных продуктов энергетического комплекса 86

Купчик Л.А., Денисович В.А., Салавор О.М., Ничик О.В.
Использование мерсеризованной рисовой шелухи в качестве сорбентов ионов Cd(II), Pb(II) и Sr(II) из растворов 95

Матвейко Н.П., Брайкова А.М., Протасов С.К., Садовский В.В.
Контроль тяжелых металлов в сокосодержащей продукции 101

Мацукевич И.В., Шевчук В.В., Полховская О.В., Матрунчик Ю.В., Конёк Д.А., Вашук В.В.
Сорбционные свойства наноструктурированного порошка MgO, полученного из модельного раствора бишофита 108

Экономика

Алексеева Е.А.
Исследование управления затратами на персонал в организациях Республики Беларусь .. 115

Грузневич Е.С., Щелкунова З.И.
Комплексная методика оценки эффективности деятельности коммерческой организации на основе целевого подхода 123

Зайцева О.В.
Эконометрическая оценка индивидуальных факторов риска молодежной безработицы..... 132

Касаева Т.В., Цынкович О.Г.
Исследование взаимосвязи аспектов устойчивого развития и инновационной деятельности промышленных организаций 140

Маковская Н.В.
Эффективность использования рабочего времени в экономике Беларуси 152

Прохоренкова И.А.
Обоснование модели маркетинга спорта и ее структурных элементов 162

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 172

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 180

CONTENTS

Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building

Gafurov Jakhongir, Mardonov Batirjon, Gafurov Kabul, Rakhmatov Salakhiddin
Elastic and Elastic-Plastic Deformation of Fibers under Axial Loading in Twisted Yarn 7

Zimina Alena, Kogan Alexander
Research of Textile Materials Cutting 14

Kazarnovskaya Galina
Design of Weave Pattern for Remise and Jacquard Fabrics of Mixed Structures 21

Kirillov Aleksey, Sakevich Valerij
Production of Dials for Analogue Electrical Measuring Instruments with Non-Linear Measuring Mechanism by Means of Laser Engraving 29

Kostsin Pavel, Zamostotskiy Yauheni
Investigation of Electro-Magnetic Properties of Knitted Fabrics with Combined Electro-Conductive Yarns 37

Pyatov Vladislav, Holubeu Aliaksei, Shyrayeu Pavel
Design Technique of Screw-Type Machines for Extrusion of Plastic Media 45

Pyatov Vladislav, Holubeu Aliaksei, Shyrayeu Pavel
Measurement of Technological Properties of Materials Formed by Extrusion 53

Skobova Natallia
Comparative Analysis of the Viscous Knitting Yarns Produced by Non-Conventional Spinning Systems 60

Synyuk Oleh, Kulik Tetiana
Calculation of Basic Parameters of Device for Plastic Waste Processing 68

Charkovskij Alexander, Goncharov Vadim
The Use of Multifilament Yarns in Hosiery 78

Chemical Technology and Ecology

Kauchur Andrei, Sheleg Valery, Kauchur Siarhei, Hrachanikau Aliaksandr, Manak Pavel, Zakharenka Aliaksandr
Development of Terracot Ceramic Tiles Manufacturing Technology with Use of Technogenic Products of Energy Complex 86

Kupchik Lidija, Denisovich Vasiliy, Salavor Oksana, Nychyk Oksana
Effect of Rice Husk Mercerizing on Its Sorption Properties after Removal of Cd(II), Pb(II) and Sr(II) Ions from Solutions 95

Matveika Mikalai, Braikova Ala, Sadovski Viktor
Control of Heavy Metals in Juice Products 101

Matsukevich Irina, Shevchuk Viacheslau, Polhovskya Olga, Matrunchik Julia, Kaniok Denis, Vashook Vladimir
Sorption Properties of the Nanostructured Powder of MgO Produced from Bischofite 108

Economics

Aliakseyeva Alena
Study of Labour Costs Management in Belarus Organizations 115

Gruznevitch Kate, Shchelkunova Zlata
Comprehensive Methodology for Assessing the Effectiveness of a Commercial Organization Based on a Targeted Approach 123

Zaitseva Olga
Econometric Estimation of Individual Risks of Youth Unemployment 132

Kasayeva Tamara, Tsynkovich Oksana
Study of the Relationship Aspects of Sustainable Development and Innovative Activity of Industrial Organizations 140

Makovskaya Nataliya
Effective Use of Working Time in the Belarus Economy 152

Prokhorenkova Irina
Sport Marketing Model Justification and Its Structural Elements 162

INFORMATION ABOUT AUTHORS 172

INSTRUCTIONS TO AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY» 180

УПРУГО И УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ВОЛОКОН ПРИ ОСЕВОМ НАГРУЖЕНИИ ПРЯЖИ

ELASTIC AND ELASTIC-PLASTIC DEFORMATION OF FIBERS UNDER AXIAL LOADING IN TWISTED YARN

УДК 677.07:539.3/.4

Ж.К. Гафуров*, Б. Мардонов, К. Гафуров, С.Н. Рахматов
Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

J. Gafurov*, B. Mardonov, K. Gafurov, S. Rakhmatov
Tashkent Institute of Textile and Light Industry

РЕФЕРАТ

УПРУГАЯ И УПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКАЯ ДЕФОРМАЦИЯ, ДЕФОРМАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЛОКНА, УДЛИНЕНИЕ, ОСЕВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

Предметом исследований являются законы деформирования в осевом направлении текстильных нитей. Реальная нить представлена в виде совокупности большого числа элементов, обладающих простейшими законами деформирования с разными константами. Рассмотрен случай, когда волокна в зависимости от осевого нагружения и кручения пряжи деформируются по упругому или упруго-пластическому законам по схеме Прандтля. Установлено, что с ростом угла кручения волокна в сечениях пряжи больше растягиваются и поэтому их пластическое деформирование происходит при более высоких значениях осевой деформации. Разработана теоретическая модель деформирования волокон в зависимости от величин осевого усилия и угла крутки пряжи. Для описания развития пластической зоны деформирования волокон предложено использовать схему Прандтля, согласно которой связь между деформацией волокон и осевым напряжением представляется двумя прямыми линиями. Результаты работы могут быть использованы при прогнозировании и оценке показателей механических свойств текстильных нитей.

ABSTRACT

ELASTIC AND ELASTIC-PLASTIC DEFORMATION, STRAIN STATE OF FIBER, ELONGATION, AXIAL STRESS

The paper discusses developed of theoretical model of deformation of the fibers, depending on the values of axial force and the twist angle of the yarn. To describe the development of plastic fibers deformation zone it is proposed to use the Prandtl scheme, according to which the connection between the fiber strain and axial stress is represented by two straight lines (bilinear diagram). The condition of axial strain is found when all fibers in the yarn are in a state of plastic deformation. In the absence of hardening the tension in the plastic zone for the twist angle between some values may decrease up to 1.5–3 times. Thus, with the presence in the yarn fibers deformable by elastically plastic according Prandtl law scheme, the yarn may form a core layer of fibers with irreversible deformations.

* E-mail: *jgafurov@mail.ru* (J. Gafurov)

It is well known that the mechanical properties of the yarn depend on individual fibers deformations and occurrence contact forces interaction between them under twisting the yarn. In this case indicators of forming yarn depend on the differences of mechanical properties of fibers, i.e. length and diameter (linier density) and also spinning conditions. The mechanical behavior of the yarn under tension in the work of Platt [1] is represented as a set of stretched fibers have fixed geometrical position, defined by the angle of their inclination to the yarn axis relatively, and thus the applied tensile stress causes the fibers tension. Thus, at a maximum stress of fibers in general (yarn), each individual fiber exhibits an effective resistance to the current load. Moreover, the inelasticity of the fiber can be expressed as a result of diversity in the slope of stress-strain curve. At the same time, depending on their geometric configuration, the average stress is converted to local fiber bundle stress, and as the main indicator is the lateral pressure, which increases from zero at the outer surface of the yarn to the center. If there is no pressure, then the two adjacent fibers will easily slide relative to each other. However, if the pressure between them is very high, the full transfer of stress fibers will often break before they slip, and the axial stress at the end points vanishes.

The foregoing description of the behavior of the yarn under tension points to the possibility of development and improvement of representations of yarn mechanical models. The tensile properties of yarn and the effect of twist amount, twisting tension, stress distribution on the yarn structure have been discussed by many researchers [2-14]. In the initial stage of loading fibers oriented in the direction of the load. At the same time begin to be stretched in the presence of contact friction force, but fibers located at an angle to the direction of this force, partly stretched, slide and move together with the parallel oriented fibers. By applying twist the fibers start to settle down along helical lines, and a simultaneous decrease in the cross-section of yarn as a result of convergence of the fibers. When removing the axial force in the fibers remain irreversible deformation and, in some fibers – the residual stresses. This case leads to irregular distribution of stresses over the cross section and it is one of the reasons of product irregularity among its length. With this regard to above it is proposed the mechanical model of fiber deformation which, depending on their level of loading, subject to the elastic and elastic-plastic deformation of the law.

THEORETICAL APPROACH

While theoretical investigation of this research the following symbols were used as:

a – various values of the parameter,

b – length of slippage region, mm,

$c = cosa$,

E_f – Young's modulus for fibre (axial modulus of fibres), N/m^2,

E_{fr} – frictional force, N,

E_p – pulling force, N,

g – function associated with lateral compression of fiber,

G – specific stress, perpendicular to fibre axis, N/m^2,

h – length of one turn of twist, mm,

r_0 – radius of fibre investigated, mm,

r – distance of yarn element from center, mm,

$r^* = r/R$,

R – yarn radius, mm,

l – length of fibre path in one turn of twist, mm,

$l = h/cos\theta$,

$L_b = 2pr_0$,

$u = c/cos\theta$,

X – tensile specific stress of fibres in yarn, N/m^2,

a – yarn twist angle, deg,

θ – corresponding helical angle at radius r, deg,

e_y – yarn deformation,

e_f – fibre extension,

σ_1 – Poisson's ration for longitudinal deformation of fibre (axial Poisson's ratio),

σ_y – Poisson's ratio for yarn (lateral contraction ratio of yarn),

m – coefficient of friction between fibres.

The laws of deformation of textile yarn formed by fibers with different properties can be described by linear or nonlinear relationships between tension, elongation, and their time derivatives. The nature of these relationships, depending on the structural framework can be for the same yarn different. The qualitative aspect of the real deformation of the yarn, described such laws are generally satisfactory, but the quantitative ratio,

defined by them sometimes differ significantly from reality. It can be to fix the laws so that they more accurately describe the deformation of the real yarn by introducing new constants in the mathematical expression of these laws. Thus, the structural irregularity heterogeneity of the structure of yarn caused by different types of fibers deformations and a large range of variation of their properties can also be described in sufficient strain state of the yarn and in quantitative terms. For this purpose, should be submitted to the actual yarn as a set of many elements, with the simplest laws of deformation, but with different constants in terms of these laws, choosing the appropriate distribution of such items.

Consider the case where the fibers in the axial loading and twisting of the yarn are deformed by the elastic or elastic-plastic laws of the Prandtl scheme. The axial stress in the fibers along the radius of the yarn can be represented by the equation [12].

$$X = E_f \varepsilon_y (\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta - 2\sigma_1 g). \quad (1)$$

The angle θ is defined by following equation

$$\cos\theta = \frac{h}{\sqrt{h^2 + 2\pi^2 r^2}} . \quad (2)$$

The function $g = g(r)$ is associated with lateral compression of the fiber and is determined in accordance with [12] as follows:

$$g = \frac{1+\sigma_y}{1+2\sigma_1} \cdot \frac{c^2}{u^2}\left(1 - u^{1+2\sigma_1}\right) - \sigma_y \frac{1 - u^{2\sigma_1 - 1}}{2\sigma_1 - 1} . \quad (3)$$

In [13] proposed another equation for calculating the function $g(r)$

$$g(r) = (\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta) \frac{\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\sin^2\alpha \cdot \cos^2\alpha}{2\left[\left(\frac{r}{R}\right)^2 \sin^2\alpha + \cos^2\alpha\right]} . \quad (4)$$

Numerical calculations made for the stress (1) using two types of functions $g(r)$, show their largest difference (10 %) for values $\sigma_1 = \sigma_y = 0{,}5$.

Figure 1 shows the curves of the reduced stress $x = X / E_f \sigma_y$ on the yarn radius for different twist angles α. Analysis of the curves in Figure 1 shows that the greatest value of the stress (tension) is reached in the fibers located in the central axis of the yarn. This indicates the possibility of developing plastic deformation in the central fiber at first and then by increasing strain – ε_y in the yarn it is formed the central zone, where deformation of the fibers occurs according to plastic law.

Denote by X_s limit stress value at which plastic deformation begins. Consider first the case of deformation of the fibers in the absence of lateral pressure, i.e., consider $g = 0$ In this case, the zone boundary $r = r_s$ plastic deformation of the fibers is determined by (1), where it should be assumed $X = X_s$ at $\theta = \theta_s$, which gives:

$$X_s = E_s \varepsilon_y \left(\cos^2\theta_s - \sigma_y \sin^2\theta_s\right) . \quad (5)$$

Solving (5) with respect to θ_s we find

$$\theta_s = arctg\sqrt{\frac{\varepsilon_y - \varepsilon_s}{\varepsilon_y \sigma_y + \varepsilon_s}} . \quad (6)$$

Valid values of θ_s are determined from condition

$$\varepsilon_y \geq \varepsilon_s . \quad (7)$$

Inequality (7) is a condition for the axial deformation – ε_y of the yarn, under which the fiber goes into plastic deformation. The boundary of this zone $r = r_s$ is determined from the equation (2):

$$\frac{r_s}{R} = \frac{tg\theta_s}{tg\alpha} . \quad (8)$$

From condition $r_s / R \leq 1$ should be $tg\theta_s < tg\alpha$ or using (6) we have

$$\varepsilon_y \leq \varepsilon_y^x = \frac{\varepsilon_s}{\cos^2\alpha - \sigma_y \sin^2\alpha} . \quad (9)$$

Thus, if the axial deformation ε_y satisfies the condition $\varepsilon_s \leq \varepsilon_y \leq \varepsilon_y^x$, the section of the yarn produced two zones: the elastic $r_s \leq r \leq R$ and plastic $0 \leq r \leq r_s$. If there is condition $\varepsilon_y \geq \varepsilon_y^x$ then

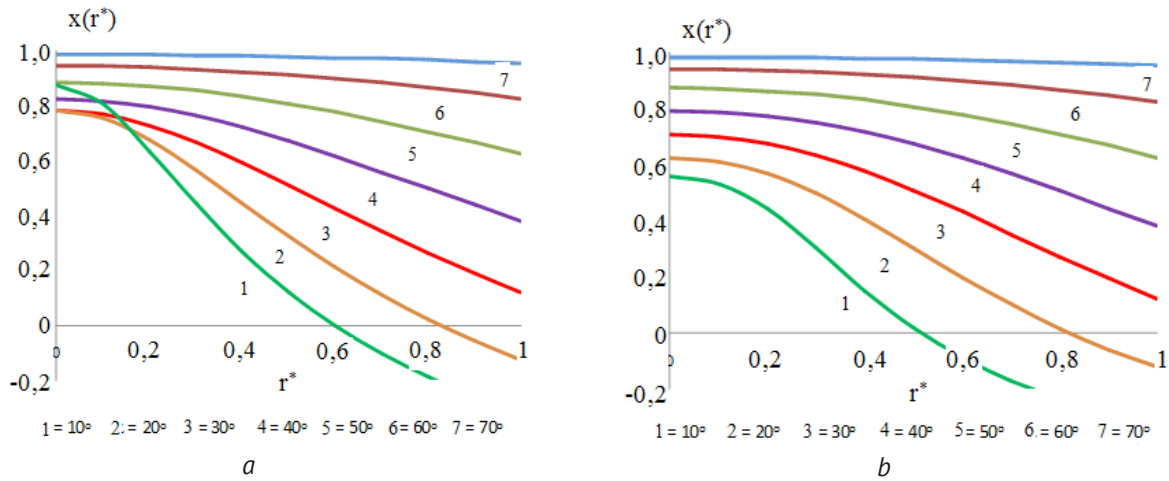


Figure 1 – The curves distribution of tensile stress of fibers (given) $x = X / E_f\varepsilon_y$ at radii $r^* = r / R$ for various values of twist angles α and $\sigma_1 = 0.5$, $\sigma_y = 0.5$: a – by Hearle's equation [12, equation 4.45]; b – by proposed equation (4)

the zone of elastic deformation of fibers will be absent, i.e., all fibers in the yarn will be in a state of plastic deformation.

In the zone of plastic deformation the connection between stress X and deformation of the fiber is determined by the Prandtl scheme:

$$X = (E_f - E_{1f})\varepsilon_s + E_{1f}\varepsilon_y\left(\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta\right) \quad \text{at } 0 \le r \le r_s . \tag{10}$$

In the area of elastic deformation of the fibers we have

$$X = E_f\varepsilon_y\left(\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta\right) \quad \text{at } r_s \le r \le R . \tag{11}$$

In the presence of lateral pressure G stresses in each zone is determined by the equations

$$X = (E_f - E_{1f})\varepsilon_s + \varepsilon_y E_{1f}\left(\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta - 2\sigma_1 g(r)\right) \quad \text{at } 0 \le r \le r_s , \tag{12}$$

$$X = \varepsilon_y E_f\left(\cos^2\theta - \sigma_y \sin^2\theta - 2\sigma_1 g(r)\right) \quad \text{at } 0 \le r \le r_s \tag{13}$$

and the border zone of two types of deformation is determined from the equation:

$$X_s = E_f\varepsilon_y\left[\cos^2\theta_s - \sigma_y \sin^2\theta_s - 2\sigma_1 g(r_s)\right] , \tag{14}$$

where

$$g(r_s) = \frac{1+\sigma_y}{1+2\sigma_1}\cdot\frac{c^2}{u_5^2}\left(1 - u_s^{1+2\sigma_1}\right) - \sigma_y\frac{1 - u_5^{2\sigma_1 - 1}}{2\sigma_1 - 1}, \quad u_s = \frac{\cos\alpha}{\cos\theta_s} . \tag{15}$$

Thus, under certain values of X_s, E_1, E_y, σ_y, σ_1 and α the expression (9) is a transcendental equation for determining the angle θ_s, knowing that from (2) further it can be find unknown radius r_s. If we use the expression (4) for determining angle θ_s we obtain the equation:

$$X_s = E_f\varepsilon_y\left(\cos^2\theta_s - \sigma_y \sin^2\theta_s\right)\left[1 - \sigma_1\left(\cos^2\theta_s - \cos^2\alpha\right)\right] . \tag{16}$$

Solving this equation for $\cos\theta_s$

$$\cos\theta_s = \sqrt{\frac{1}{2}\left[a + b - \sqrt{(a-b)^2 - 4C/\varepsilon_p}\right]} , \tag{17}$$

where

$$a = \frac{\sigma_y}{1+\sigma_y}, \quad b = \frac{1+\sigma_1\cos^2\alpha}{\sigma_1}, \quad C = \frac{1}{\sigma_1(1+\sigma_y)}, \quad \varepsilon_p = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_s} . \tag{18}$$

The condition of the existence of a real root,

should:

$$\varepsilon_y \le \varepsilon_y^x = \frac{\varepsilon_s}{\cos^2\alpha - \sigma_y \sin^2\alpha}, \qquad (19)$$

since $\theta_s \le \alpha$ $(\cos\theta_s \ge \cos\alpha)$ $(0 \le \alpha \le 90^0)$ then from (17) we have

$$\frac{1}{2}\left[a + b - \sqrt{(a-b)^2 - 4C/\varepsilon_p^*}\right] \ge \cos^2\alpha. \qquad (20)$$

From this inequality we establish: $\varepsilon_y \le \varepsilon^*_y$ that is, the presence of lateral pressure does not affect the amount of deformation ε^*_y, which determines the limiting value of the deformation of yarn in which all the fibers pass into a state of plastic deformation.

Figure 2 shows the curves of the border zone r_s / R between the elastic and plastic deformation of the fibers from the relationship to $\varepsilon_p = \varepsilon_y / \varepsilon_s$ for $\sigma_1 = 0.1$, $\sigma_y = 0.5$ and different values of the twist angle.

Analysis of the graphs shows that with increasing twist angle the fibers in the yarn cross-sections is less stretched and therefore plastic deformation occurs at higher values of the axial deformation ε_y of the yarn. For example, at $\alpha = 20^0$ all the fibers in the yarn will be in a state of plastic deformation, if the axial deformation of the yarn has a value $\varepsilon_y > 1.15\varepsilon_s$ and if the twist angle is equal to $\alpha = 50^0$ then this value of deformation will be greater than $2.8\varepsilon_s$.

Figure 3 shows the curves of axial stress distribution $x = X / E_{1f}\varepsilon_s$ from the radius for two values of the twist angle α and different attitudes and values $k = E_{1f} / E_f$ and $\varepsilon_y / \varepsilon_s$. In the calculations taken: $\sigma_1 = 0.1$, $\sigma_y = 0.5$.

In the figure 3 the curves 1 are corresponding to the elastic deformation under $\varepsilon_y < \varepsilon_s$, condition while the curves 5 are deformed by plastic law.

Reduced coefficient of hardening - k can lead to a significant decrease in axial stress fibers in the zone of plastic deformation. This effect is most clearly observed for large values of the twist angle α. For example, at twist angle $\alpha = 20^0$ the stress of fibers, located on the axis of the yarn is reduced by 1,4 times. When twist angle $\alpha = 50^0$ the stress in this fiber is reduced 2,82 times.

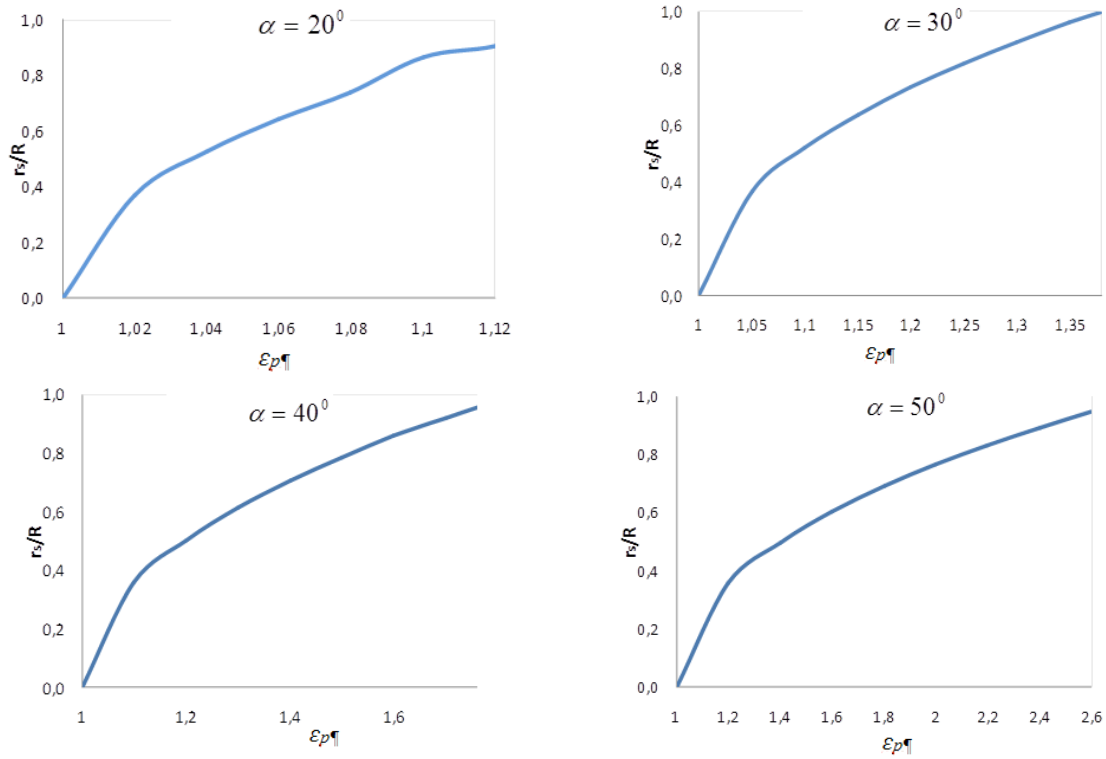


Figure 2 – Depending on the border zone of deformation r_s / R on the ratio $\varepsilon_p = \varepsilon_y / \varepsilon_s$ for different values of the angle α

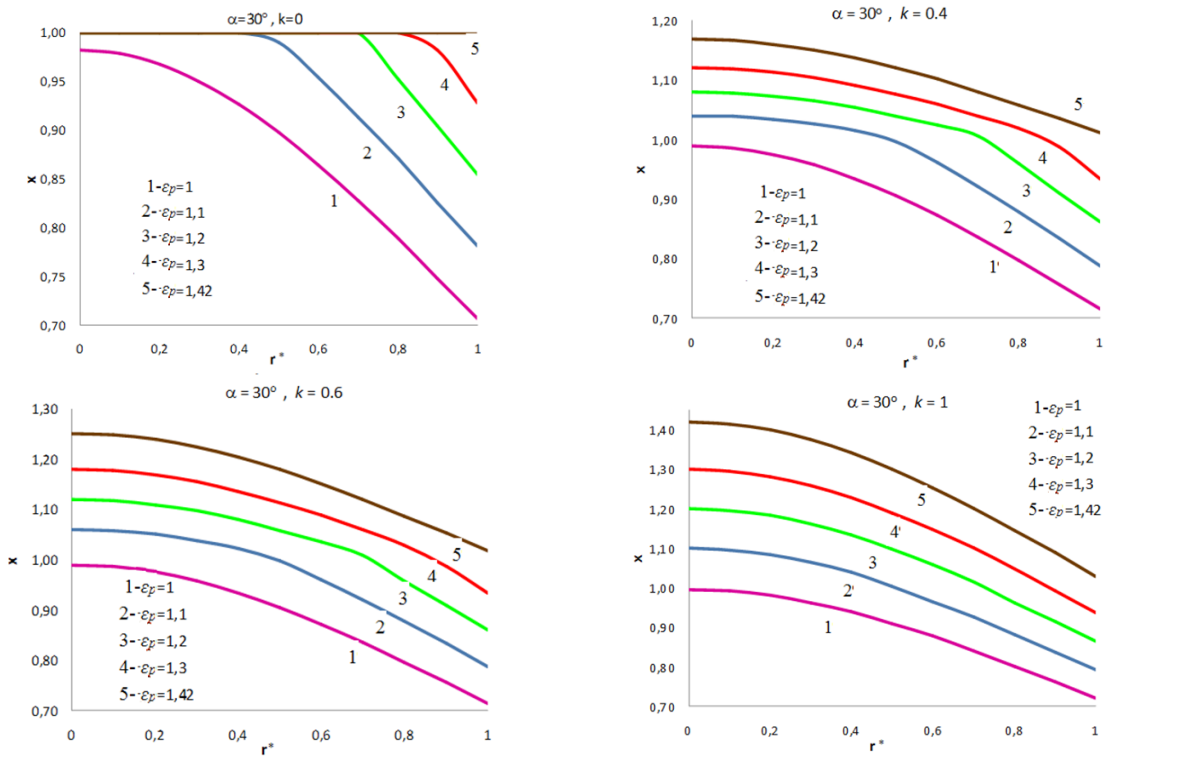


Figure 3 – The curves distribution of tensile stress of fibers (given) $\boldsymbol{x = X / E_f \varepsilon_y}$ *at radii* $\boldsymbol{r^* = r / R}$ *at twist angle* $\boldsymbol{\alpha = 30^0}$ *for various values of* $\boldsymbol{k = E_{1f} / E_f}$ *and* $\boldsymbol{\varepsilon_p = \varepsilon_y / \varepsilon_s}$

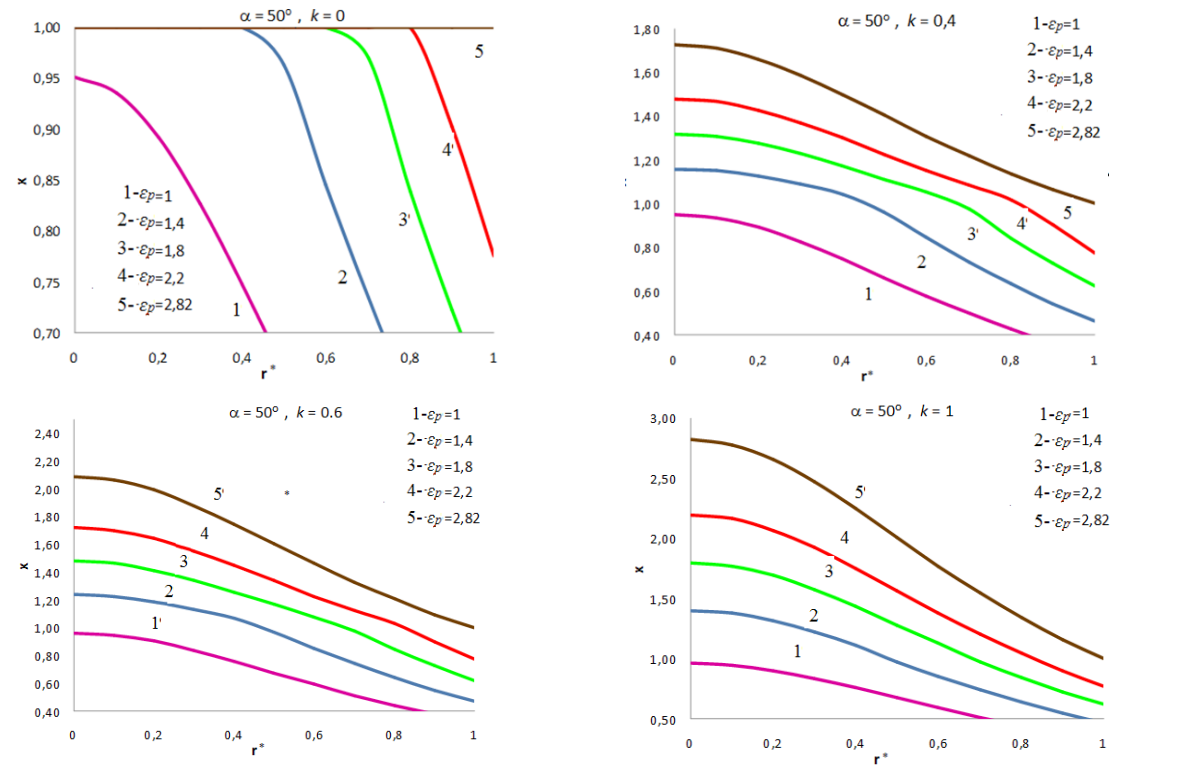


Figure 4 –The curves distribution of tensile stress of fibers (given) $\boldsymbol{x = X / E_f \varepsilon_y}$ *at radii* $\boldsymbol{r^* = r / R}$ *at twist angle* $\boldsymbol{\alpha = 50^0}$ *for various values of* $\boldsymbol{k = E_{1f} / E_f}$ *and* $\boldsymbol{\varepsilon_p = \varepsilon_y / \varepsilon_s}$

CONCLUSION

During analytical investigation the statement of deformed yarn was developed the theoretical model of deformation of the fibers, depending on the values of axial force and the twist angle of the yarn. For describing the development of plastic deformation zone of the fibers proposed to use the Prandtl scheme, where the link between the deformation of fibers and the axial stress is represented by two straight lines (bilinear diagram). It is found that when the axial strain value is $\varepsilon_y = \varepsilon^x_y = \varepsilon_s / (\cos^2\alpha - \sigma_y \sin^2\alpha)$ all fibers of the yarn will be in a state of plastic deformation. In the absence of hardening ($k = 0$) the stress in the plastic zone when the twist angle is $10^0 < \alpha < 50^0$ can be reduced by 1,5–3 times. Thus, in the presence of deformed fibers in the yarn by elastically-plastic law according to the Prandtl scheme, there is can be developed the central layer of fibers in the yarn with irreversible deformations.

REFERENCES

1. Platt, M. M., Mechanics of elastic performance of textile materials. *Textile Research Journal*, 1950. 20(1): p. 1–15.
2. Platt, M. M., Mechanics of elastic performance of textile materials. *Textile Research Journal*, 1950. 20(10): p. 665–667.
3. J.W.S.Hearle, H.M.A.E.El-Behery, and V.M.Thakur, 15-The mechanics of twisted yarns: theoretical developments. *Journal of the Textile Institute Transactions,* 1961, 52: p. T197–220.
4. J. W. S. Hearle and H. M. A. E. El-Behery, 13-The transmission of transverse stresses in fibre assemblies. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1960. 51(4): p. T164–T171.
5. L. R. G. Treloar, Mather lecture. Twisted structures. J*ournal of the Textile Institute Proceedings*, 1964. 55(2): p. P13–P26.
6. L. R. G. Treloar and G. Riding, 16- A theory of the stress-strain properties of continuous-filament yarns. *Journal of the Textile Institute Transactions,* 1963. 54(4): p. T156–T170.
7. G. Riding, 10-The effect of yarn twist on filament properties. *Journal of the Textile Institute Transactions,* 1965. 56(3): p. T109–T120.
8. L. R. G. Treloar, 28-A migrating-filament theory of yarn properties. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1965. 56(7): p. T359–T380.
9. L. R. G. Treloar, 38-The stress-strain properties of multi-ply cords part i. theory. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1965. 56(9): p. T477–T488.
10. L. R.G. Treloar and J. W. S. Hearle, The mechanics of twisted yarns: a correction. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1962. 53(9): p. T446–T448.
11. L. R. G. Treloar and G. Riding, 29-Migrating-filament theory: apparent variation of twist with radial position. *Journal of the Textile Institute Transactions*, 1965. 56(7): p. T381–T388.
12. J. W. S. Hearle, P. Grosberg, S. Backer, Structural mechanics of fibers, yarns, and fabrics, 1969. 1: p. 175–211.
13. X. Shao, Y. Qiu, and Y. Wang, Theoretical modeling of the tensile behavior of low-twist staple yarns: Part I - theoretical model. Journal of the Textile Institute, 2005. 96(2): p. 61–68.
14. X. Shao, Y. Qiu, and Y. Wang, Theoretical modeling of the tensile behavior of low-twist staple yarns: Part II - theoretical and experimental results. Journal of the Textile Institute, 2005. 96(2): p. 69–76.
15. I. G. Chistoborodov, V. A. Avrelkin, and V. I. Ronjin, Definition the maximal twist angle of yarn. *Izvestiya VUZov Technology of Textile Industry,* 2002. 2: p. 40–42.

Статья поступила в редакцию 04. 11. 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

RESEARCH OF TEXTILE MATERIALS CUTTING

УДК 677.024.072

Е.Л. Зимина*, А.Г. Коган
Витебский государственный технологический университет

A.Zimina*, A. Kogan
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ТЕКСТИЛЬНЫЕ ОТХОДЫ, УПРУГО-ПЛАСТИЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ, ВОЛОКНИСТАЯ МАССА, ПРОЦЕСС ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

В работе представлен анализ основных закономерностей процесса резания текстильных отходов как упруго-пластичных материалов. Установлено, что варьируя технологическими параметрами режущего инструмента – количеством ножей, диаметром оправки ротора, толщиной тела ротора, высотой и длиной ножей, углом их наклона, а также размером ячеек сортировочного сита волокнистая масса достигает равномерной консистенции, а размеры частиц измельчаются до требуемой величины. Получены расчетные аналитические выражения и математические модели для определения показателей измельчения упруго-пластичных материалов с позиции размера частиц в общей волокнистой массе.

ABSTRACT

TEXTILE WASTE, ELASTIC-PLASTIC MATERIALS, CUTTING PROCESS, FIBER MASS, MILLING PROCESS

The paper presents an analysis of the main regularities of the process of cutting textile waste as elastic-plastic materials. It is established that by varying the technological parameters of the cutting tool: the number of blades, the diameter of the rotor mandrel, the thickness of the rotor body, the height and length of the knives, the angle of their inclination, and the size of the cells of the screening screen, the pulp achieves a uniform consistency and the particle size is reduced to the required value. Calculated analytical expressions and mathematical models are obtained to determine the parameters of grinding elastoplastic materials from the position of particle size in the total fiber mass.

Эффективность и качество полученного волокнистого материала в процессе измельчения текстильных отходов зависят от рационального проведения процессов обработки их резанием, которое достигается в том случае, если:

– режущая часть инструмента имеет оптимальные геометрические параметры и качественную заточку лезвий;

– резание материалов осуществляется с технически и экономически обоснованными подачами материала и скоростями резания;

– максимально используются возможности механизмов оборудования для измельчения [1].

Современные тенденции развития машиностроения, связанные с автоматизацией производственных процессов, созданием новых видов материалов с еще недостаточно изученными свойствами требуют поиска новых подходов к исследованию процесса резания, основанных на достижениях фундаментальных наук, разработки новых видов обработки резанием, режущих инструментов и станков [2].

На практике для определения режимов резания пользуются одним из методов расчета:

1) табличным (выбор параметров режима резания по специальным таблицам);

2) аналитическим (расчет по эмпирическим зависимостям);

* E-mail: *alenakul26@mail.ru* (A.Zimina)

3) графическим (построением графических зависимостей номограмм в логарифмической системе координат) [3].

Аналитическое описание процесса резания текстильных материалов возможно лишь при выявлении взаимосвязи между следующими группами факторов, влияющих на ход процесса и определяющих его результаты: технологическими требованиями к процессу, деформационно-прочностными свойствами материалов, типом и характеристиками режущего инструмента и оборудования, характером и параметрами деформационно-разрушающего воздействия, особенностями силового взаимодействия лезвия с объектом обработки [4].

Целью работы является разработка аналитических выражений и математических моделей расчета технологических параметров оборудования для измельчения текстильных отходов.

Так как текстильные отходы в виде кромок, обрези, межлекальных выпадов имеют различные размеры, для их измельчения чаще всего используют ножевые дробилки и барабанные мельницы (роторные дробилки).

Основной характеристикой процесса измельчения является степень измельчения (***i***), которая определяется соотношением средневзвешенных размеров частиц материала до и после измельчения:

$$i = \frac{d_н}{d_к}, \qquad (1)$$

где $d_н$ – размер частиц до измельчения, мм; $d_к$ – размер частиц после измельчения, мм.

Степень измельчения отражает технологию и определяет параметры измельчителей. Требуемый размер частиц после измельчения зависит от области их дальнейшего применения.

Производительность роторных дробилок ***Q***, м^3/с определяют по формуле

$$Q = W\frac{(D-d)^2}{8}h \cdot z, \qquad (2)$$

где ***h*** – высота ножа, м; ***D*** – диаметр ротора по кромке ножей, м; ***W*** – угловая скорость ротора, с$^{-1}$; ***d*** – диаметр ротора у основания ножей, м; ***z*** – количество ножей.

Тогда производительность по массе равна

$$Q_m = Q \cdot \rho, \text{ кг/с} \qquad (3)$$

где ρ – плотность материала, кг/м^3.

$$Q_m = W\frac{(D-d)^2}{8}h \cdot z \cdot \rho. \qquad (4)$$

Большой диаметр ротора позволяет:

– установить большое количество ножей при постоянном шаге, благодаря чему минутная подача на нож возрастает, а следовательно повышается производительность;

– увеличить массу ротора и длину дуги контакта ротора с материалом, что улучшает теплоотвод, а следовательно, увеличивается стойкость ножей и самого ротора к износу;

– сделать большое посадочное отверстие, то есть применить более жесткую оправку, что позволит вращаться ротору на высоких скоростях без вибрации.

Однако увеличение диаметра ротора повышает крутящий момент, а следовательно и расход энергии, увеличивает расход стали для изготовления режущего инструмента.

Поэтому необходимо подбирать конструкцию ротора с наибольшим диаметром посадочного отверстия и возможно меньшим наружным диаметром.

Число ножей – важный параметр ротора в измельчителе, от которого зависит торцевой шаг и работоспособность ротора. Чем меньше количество ножей у ротора одного и того же диаметра, тем больше объем канавок для размещения волокнистого материала. Также чем больше ножей, тем меньше величина сил резания, приходящаяся на один нож. Поэтому число ножей должно быть оптимальным. Следовательно, расчет конструктивных элементов ротора сводится к определению его диаметра, числа ножей, диаметра оправки ротора, а также расчету элементов ножей – их высоты.

Особенности процесса резания с помощью

роторного измельчителя:

– каждый нож работает с перерывами, периодически цепляя материал (рисунок 1). Отрицательным в данном случае является то, что врезание ножа в материал происходит с ударом;

– срезаемый материал должен свободно размещаться во впадине между ножами, а поэтому объем впадины должен быть больше объема срезаемого материала.

Для анализа толщины и площади сечения среза материала сначала определим значение угла контакта δ, то есть центрального угла, соответствующего дуге контакта ротора с материалом.

Из треугольника OBC

$$\cos\delta = \frac{OC}{OB} = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2t}{D} \;;$$

$$\delta = \arccos\left(1 - \frac{2t}{D}\right). \qquad (5)$$

Толщина слоя срезаемого материала a – это расстояние между двумя последовательными положениями траекторий двух смежных ножей, измеренное по нормали, то есть в радиальном направлении, t – толщина материала.

На рисунке 2 точка B соответствует моменту выхода первого ножа из зоны контакта с материалом, точка E – то же для второго ножа, δ – угол контакта.

Из треугольника BCE имеем

$$BC = a_{max} = S_z \cdot \sin\delta\,. \qquad (6)$$

В общем случае

$$a_{\psi} = S_z \cdot \sin\psi\,, \qquad (7)$$

где ψ – мгновенный угол контакта, заключенный между вертикалью и радиусом, проведенным в точку контакта вершины ножа с материалом.

Зная ширину среза B (ширина материала, попадающая под нож) и a_{max}, можно определить

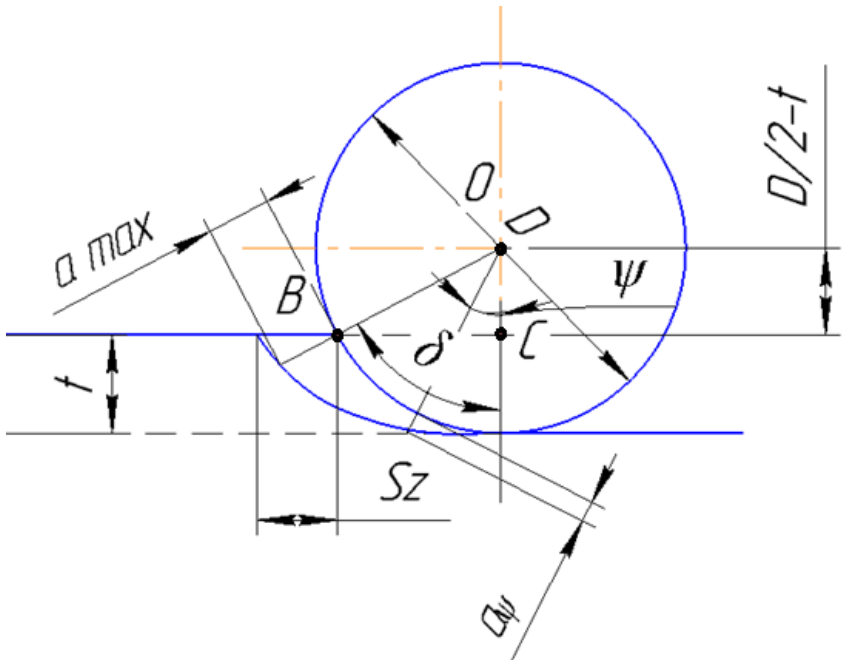


Рисунок 1 – Схема срезания материала одним ножом ротора

площадь поперечного сечения среза, снимаемого одним ножом f

$$f = B \cdot a\,; \qquad f_{max} = B \cdot a_{max} = B \cdot S_z \cdot \sin\delta\,. \tag{8}$$

Так как

$$\sin\delta = \sqrt{1-\cos^2\delta} = \sqrt{1-\left(1-\frac{2t}{D}\right)^2} = 2\sqrt{\frac{t}{D}-\frac{t^2}{D^2}}\,, \tag{9}$$

получаем

$$f_{\max} = 2B \cdot S_z \sqrt{\frac{t}{D}-\frac{t^2}{D^2}}\,. \tag{10}$$

Учитывая, что при измельчении одновременно работают несколько ножей, вводится понятие суммарной площади поперечного сечения срезаемого слоя. Для ее определения необходимо знать, сколько ножей одновременно находится в работе и мгновенный угол контакта для каждого ножа.

Количество одновременно работающих ножей m будет равно

$$m = \frac{\delta}{\eta}\,, \tag{11}$$

где $\eta = 360 / z$ – центральный угол между двумя соседними ножами.

Учитывая формулу 11

$$m = \frac{\arccos\left(1-\frac{2t}{D}\right)\cdot z}{360}\,. \tag{12}$$

Следовательно, значение m будет тем больше, чем больше t, число ножей и чем меньше диаметр ротора по кромкам ножей.

Мгновенные углы контакта для ножей 1, 2, 3 (рисунок 3) соответственно равны: $\psi_1 = \delta$; $\psi_2 = \delta - \eta$; $\psi_3 = \delta - 2\eta$ и так далее.

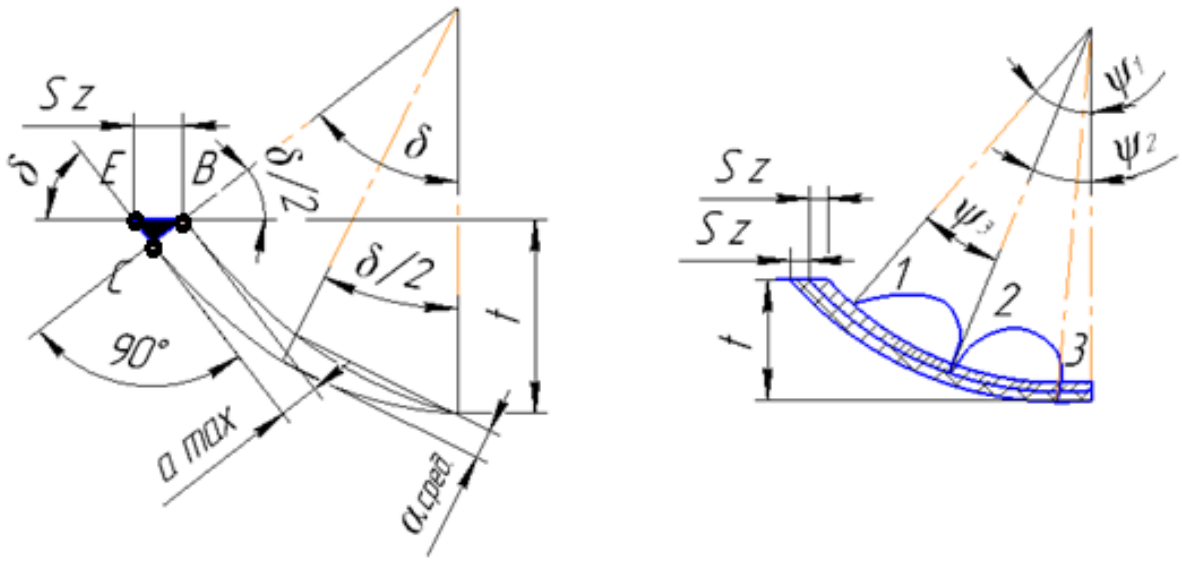


Рисунок 2 – Схема определения толщины среза и суммарной площади срезаемого слоя

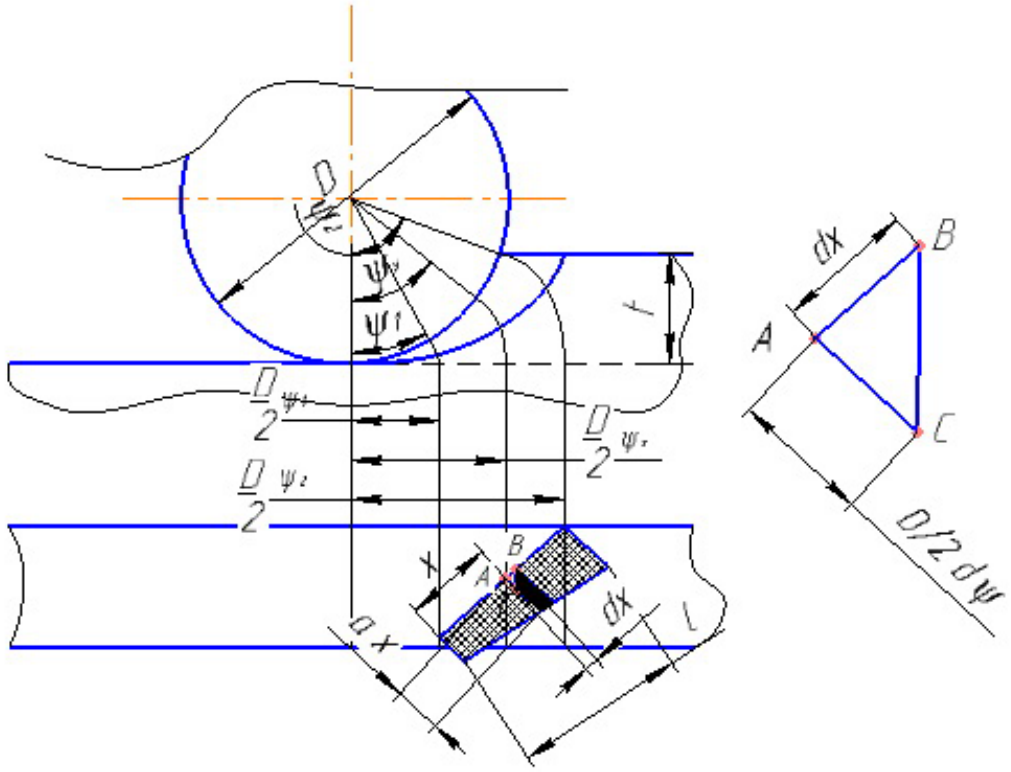


Рисунок 3 – Схема определения площади среза

Так как для каждого ножа площадь срезаемого слоя равна

$$f_i = B \cdot S_z \cdot \sin\psi_i \,, \qquad (13)$$

суммарная площадь сечения среза

$$F = \sum f_i = B \cdot S_z \left(\sin\psi_1 + \sin\psi_2 + \ldots + \sin\psi_m\right) = B \cdot S_z \sum_1^m \sin\psi_i . \qquad (14)$$

Так как $\boldsymbol{f}$ – это сечение среза, снимаемое одним ножом, а $\boldsymbol{l}$ – длина ножа, элементарный участок лезвия ножа $\boldsymbol{dx}$ срезает слой толщиной $\boldsymbol{a_x}$ и поперечным сечением

$$df = a_x dx \,, \qquad (15)$$

$$dx = \frac{D}{2} \cdot \frac{d\psi}{\sin\gamma} \,, \qquad (16)$$

где $\boldsymbol{\gamma}$ – угол наклона ножей.

Тогда

$$df = a_x \frac{D}{2} \cdot \frac{d\psi}{\sin\gamma} = S_z \sin\psi \frac{D}{2} \cdot \frac{d\psi}{\sin\gamma} \,. \qquad (17)$$

Следовательно, площадь среза равна

$$f = \int_{\psi_1}^{\psi_2} df = \frac{D}{2} \cdot \frac{S_z}{\sin\gamma} \int_{\psi_1}^{\psi_2} \sin\psi \, d\psi = \frac{D}{2} \cdot \frac{S_z}{\sin\gamma} \left(\cos\psi_1 - \cos\psi_2\right), \qquad (18)$$

а для количества ножей, равного $\boldsymbol{m}$

$$F = \sum f = \frac{D}{2} \cdot \frac{S_z}{\sin\gamma} \sum_1^m \left(\cos\psi_1 - \cos\psi_2\right) . \qquad (19)$$

При мгновенной толщине срезаемого слоя, равной

$$S_z = \frac{S_m \cdot \pi}{30 \cdot W \cdot z} \sin\psi \,, \qquad (20)$$

где S_m – подача материала в минуту, мм.

При условии, что материал подается под действием собственной силы тяжести

$$S_z = \frac{\frac{gt^2}{2}\cdot\pi}{30\cdot W\cdot z}\sin\psi = \frac{\frac{mt^2}{\rho^* a^* t^2 2}\cdot\pi}{30\cdot W\cdot z}\sin\psi = \frac{m\cdot\pi}{\rho^*\cdot a^*\cdot 60\cdot W\cdot z}\sin\psi, \quad (21)$$

где ρ^* – поверхностная плотность материала, г/м^2; a^* – ширина подаваемого материала, м.

Тогда формула 19 примет вид

$$F = \frac{D\cdot m\cdot\pi}{120\cdot\rho^*\cdot a^*\cdot W\cdot z\cdot\sin\gamma}\sum_{1}^{m}\left(\cos\psi_1 - \cos\psi_2\right). \quad (22)$$

Для подтверждения расчетных значений был проведен эксперимент. Принятые при проведении эксперимента параметры работы измельчающего устройства представлены в таблице 1. Поверхностная плотность испытуемых образцов равна 200 г/м^2.

Значения площади частиц, полученные экспериментальным и теоретическим путем, представлены на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что значение площади частицы, полученной расчетным путем, 4,6 мм^2 попадает в интервал 4,0–5,8 мм^2 размеров частиц, полученных в результате проведенного эксперимента.

ВЫВОДЫ

В результате произведен анализ основных закономерностей процесса резания текстильных материалов. Установлено, что при варьировании технологическими параметрами режущего инструмента: количеством ножей, диаметром ротора, высотой, длиной ножей и углом их наклона – волокнистая масса достигается равномерной консистенции, а размеры частиц измельчаются до требуемой величины. Получена математическая модель для определения показателей измельчения материалов с позиции размера частиц в общей волокнистой массе.

Таблица 1 – Основные параметры устройства для измельчения при проведении испытаний

Показатель	Единицы измерения	Значение
Диаметр ножевого ротора по кромкам ножей	мм	200
Рабочая длина ножей	мм	250
Частота вращения ротора	мин$^{-1}$	900
Число ножей	шт	3
Угол наклона ножей	град	45

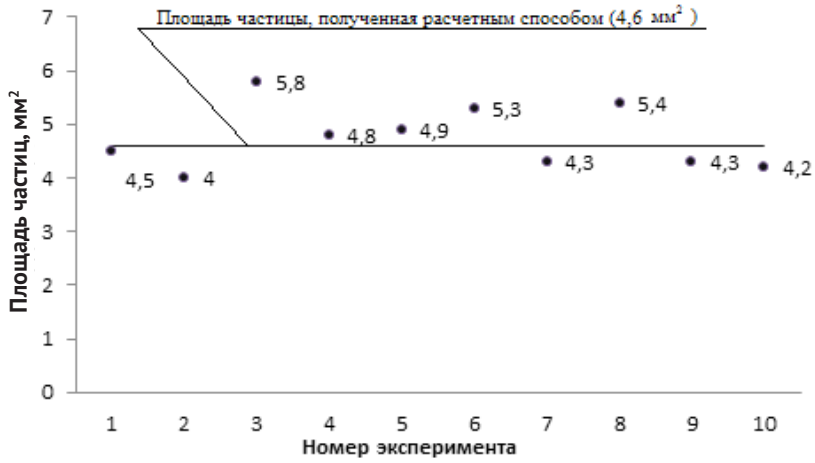


Рисунок 4 – Результаты замеров частиц, полученные расчетным и экспериментальным способами

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Зимина, Е. Л., Коган, А. Г., Ольшанский, В. И. (2016), Подготовка текстильных отходов при производстве нетканых материалов, полученных способом мокрого прессования, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2016, №31, С. 47–54.

2. Попок, Н. Н. (2006), *Теория резания*, Новополоцк, 228 с.

3. Кулаженко, Е. Л. (2009), Исследование процесса резания упруго-пластичных материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2009, № 16, С. 57–61.

REFERENCES

1. Zimina, E. L., Kogan, A. G., Olshanskiy, V. I. (2016), Preparation of textile waste in the production of nonwoven materials obtained by the method of wet pressing [Podgotovka tekstilnyih othodov pri proizvodstve netkanyih materialov, poluchennyih sposobom mokrogo pressovaniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University,* 2016, № 31, p. 47-54.

2. Popok, N. N. (2006), *Teoriya rezaniya* [Theory of cutting], Novopolotsk, 228 p.

3. Kulazhenko, E. L. (2009), A study of cutting process of elastic-plastic materials [Issledovanie protsessa rezaniya uprugo-plastichnyih materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University,* 2009, № 16, p. 57–61.

Статья поступила в редакцию 30. 10. 2017 г.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РИСУНКОВ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ ДЛЯ РЕМИЗНЫХ И ЖАККАРДОВЫХ ТКАНЕЙ СМЕШАННЫХ СТРУКТУР

DESIGN OF WEAVE PATTERN FOR REMISE AND JACQUARD FABRICS OF MIXED STRUCTURES

УДК 677.025.568.66

Г.В. Казарновская*
Витебский государственный технологический университет

G. Kazarnovskaya*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

РЕМИЗНЫЕ ТКАНИ, ЖАККАРДОВЫЕ ТКАНИ, СМЕШАННЫЕ СТРУКТУРЫ, МОДЕЛЬНЫЕ ПЕРЕПЛЕТЕНИЯ, УТОЧНЫЙ ГОБЕЛЕН

Работа посвящена проектированию ремизных и жаккардовых тканей смешанных структур с целью улучшения их художественно-колористического оформления. В структуре одной ткани предложено использовать участки однослойного, двухслойного, полого, в два с половиной слоя, гобеленового, репсового строения, что позволяет создать в ткани современный объемный рисунок.

Структура уточного гобелена в рисунок двухслойных жаккардовых тканей введена впервые, при этом разработаны модельные переплетения с короткими и длинными уточными перекрытиями, которые позволяют получить в ткани чистые цветовые эффекты, принадлежащие цвету нитей утка.

Сочетание различных структур в ткани применено в ассортименте ремизных и жаккардовых платьево-костюмных, жаккардовых мебельно-декоративных тканей и штучных изделий, которые успешно внедряются в производство на РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

ABSTRACT

REMISE FABRICS, JACQUARD FABRICS, MIXED STRUCTURES, WEAVE, TECHNOLOGY, WARP, WEFT, LOOM, WEAVING, DESIGN, STRUCTURE, WEFT TAPESTRY

The work is devoted to the design of remise and jacquard fabrics of mixed structures in order to improve their artistic and color design.

It is proposed to use single-layer, two-layer, hollow, two and a half layers, tapestry, reps structure for producing a modern three-dimensional pattern in the fabric. The structure of the weft tapestry in the pattern of two-layer jacquard fabrics was introduced for the first time.

The model weaves with short and long weft overlappings are developed. It allows obtaining pure color effects in the fabric.

The combination of various structures in the fabric is applied in the assortment of the remise and jacquard dress-suit, jacquard furniture and decorative fabrics and piecework.

Одной из актуальных задач, стоящих перед текстильной отраслью Республики Беларусь, является создание конкурентоспособных тканей бытового назначения, которые по своим эстетическим свойствам составили бы альтернативу лучшим мировым аналогам.

Особое внимание в этой связи стоит уделять развитию ассортимента тканей сложных структур. Техническое перевооружение парка ткацкого оборудования на крупнейших текстильных предприятиях: РУПТП «Оршанский льнокомбинат», ОАО «Камволь» – это база, на которой возможно осуществить производство сложных по структуре и художественно-колористическому

* E-mail: *galina_kazarnovskaya@mail.ru* (G. Kazarnovskaya)

оформлению тканей.

Работа посвящена проектированию переплетений ремизных и жаккардовых тканей, в рисунке которых используется несколько видов структур с различным числом основных и уточных нитей: однослойные, полутораслойные, двухслойные с соединением слоев нитями слоев по контуру заданного узора, двухслойные, в два с половиной слоя, уточные гобелены. Наличие такого количества структур в одной ткани позволяет придать рисунку объемность, рельефность.

В ремизном ткачестве на ткацких станках фирмы Picanol с ремизоподъемной кареткой на 20 или 24 ремизки возможно выработать ткани смешанных структур. Наиболее эффектные рисунки получаются чередованием участков однослойного и полого строения. В качестве мотива узора в костюмных тканях используется продольная полоса или клетка, реже поперечная полоса. Выбор переплетений в различных элементах узора влияет на величину уработки нитей основы, что влечет за собой наличие в заправке ткацкого станка одного или двух навоев. При однонавойной заправке для выравнивания уработок в продольной полосе на однослойных участках целесообразно использовать переплетения с длинными перекрытиями в раппорте, поскольку плотность по основе в слое увеличивается в два раза по сравнению с участками полого строения, где основы и утки располагаются в двух слоях. На полых участках могут быть размещены переплетения с короткими перекрытиями. Размеры вертикальных полос зависят от вида проборки основных нитей в ремиз: при рядовой – размеры полос ограничены числом ремизок в заправке, при сводной – прерывной это ограничение снимается.

На рисунке 1 представлен заправочный ри-

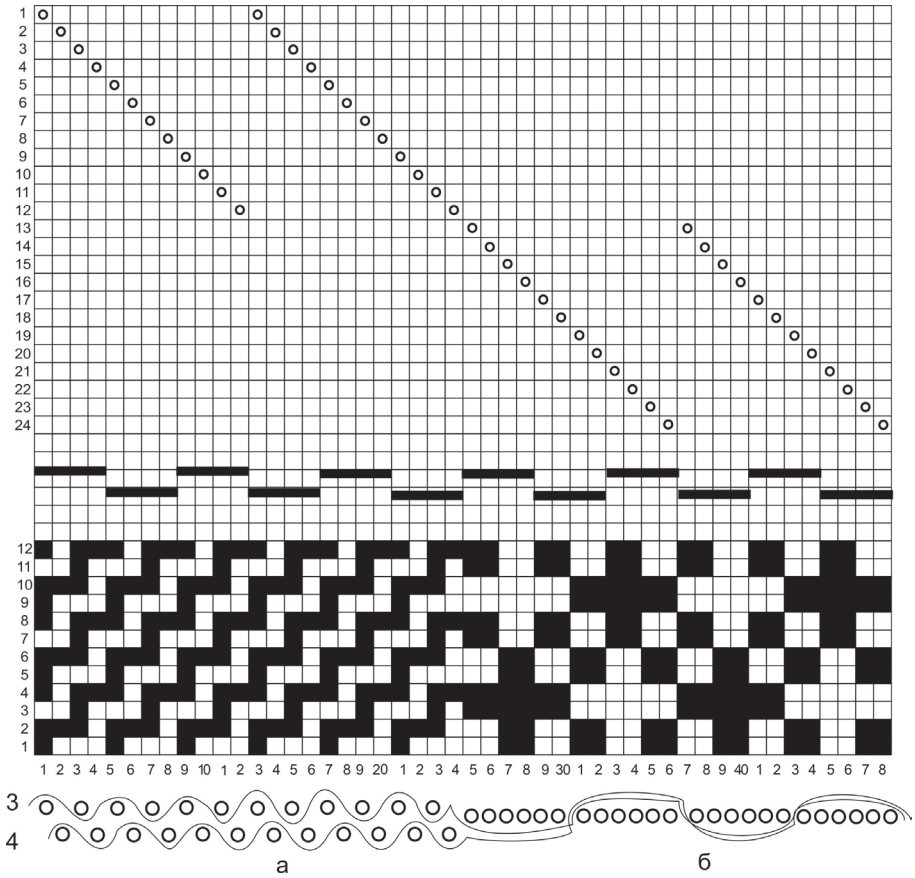


Рисунок 1 – Заправочный рисунок ткани в продольную полоску: а – на базе полотняного переплетения, б – однослойное просвечивающее переплетение

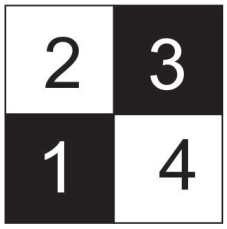
сунок ткани в продольную полоску, в одной из которых используется двухслойное строение с перевязкой по контуру заданного узора (полос) на базе полотняного переплетения (рисунок 1 *а*), во втором – однослойное просвечивающее переплетение (рисунок 1 *б*). Проборка сводная прерывная: в первом и во втором сводах по 12 ремизок; в каждом своде пробора рядовая, раппорт проборки равен двум. При одинаковом числе повторений раппорта проборки в каждой полосе, их размер в ткани различен: полоса полого строения вдвое уже полосы однослойного строения. Выбор просвечивающего переплетения в одной из полос неслучаен: наличие коротких перекрытий на границе полос способствует усилению объемности полосы полого строения. В основах и утках ткани могут использоваться нити одинакового цвета, при двухцветных основах и утках эффект продольной полосы усиливается цветом: полая полоса – чистого цвета, однослойного – смешанного, ткань – двулицевая, одна сторона по цвету является негативным изображением другой стороны.

Для исключения перезаправки ткацкого станка, связанной с новым видом проборки в каждом своде, при использовании в качестве мотива узора клетки, в диаметрально противоположных элементах которой расположены одинаковые переплетения (рисунок 2), достаточно в первом полого строения и втором – однослойного строения, то есть элементах, расположенных друг над другом, выбрать переплетения с равными или кратными раппортами по основе.

Так, при сохранении проборки основных нитей в ремиз, представленной на рисунке 1, для выработки клетки достаточно в первом и третьем элементах в слоях ткани использовать полотняное переплетение, саржу 1/2, 2/1 или полурепс уточный 2/1; во втором и четвертом элементах сохранить просвечивающее переплетение. На рисунке 3 представлен рисунок переплетения в клетку.

Ассортимент жаккардовых тканей сложных структур разнообразен: это платьево-костюмные, пальтовые, мебельно-декоративные ткани; штучные изделия. Структура этих тканей как правило однородна, выявление цветовых эффектов достигается использованием различных переплетений на внешних сторонах ткани и цветных нитей в основах и в утках. Наиболее распространенными являются ткани, в строении которых участвуют две системы нитей основы и утка различных цветов. Для получения устойчивой структуры платьево-костюмных, пальтовых тканей используются двухслойные переплетения с различными способами соединения слоев: «сверху-вниз», «снизу-вверх», комбинированный. В ассортименте мебельно-декоративных тканей, штучных изделий чаще других используют соединение слоев перемещением нитей основы и утка из слоя в слой по контуру заданного узора. В декоративном покрывале, рисунок которого разработан дипломницей кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ» Бетеня А.В., присутствуют два вида двухслойных переплетений: полое и с соединением слоев по способу «сверху-вниз», когда в соединении участвуют основа верхнего слоя и уток нижнего. Рисунок покрывала – это двухцветная монокомпозиция, характеризующаяся наличием фона, на площади которого размещен графический рисунок из геометрических и цветочных форм (рисунок 4).

В строении ткани – две основы черного и белого цвета и два утка черного и белого цвета. Несмотря на то, что в рисунке всего два цвета – белый и черный, в покрывале предло-



элементы полого строения

элементы однослойного строения

Рисунок 2 – Мотив узора клетки

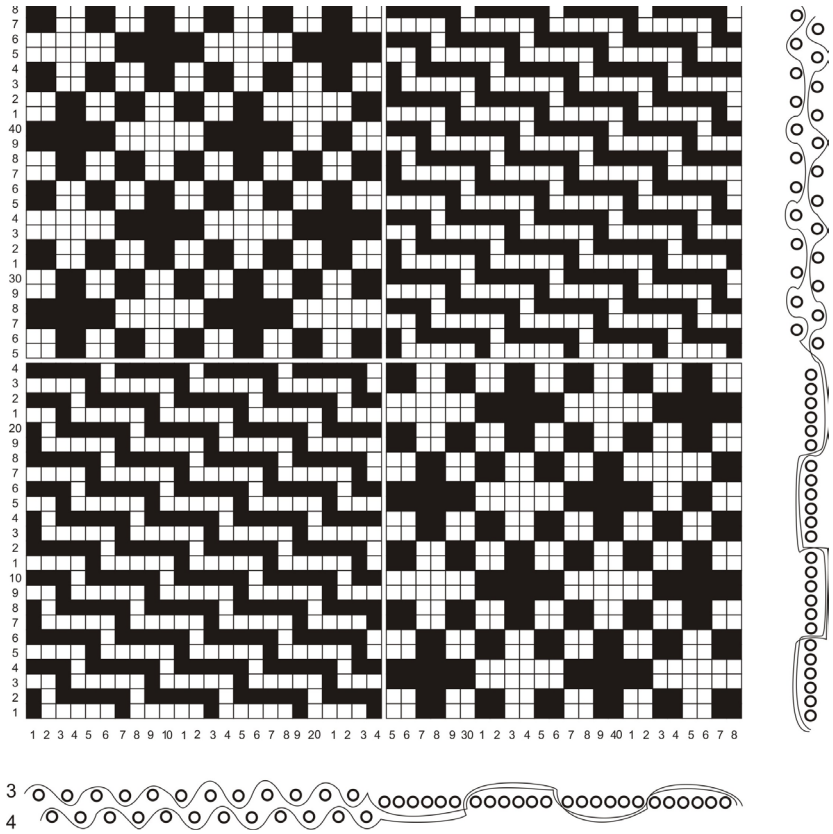


Рисунок 3 – Рисунок переплетения в клетку

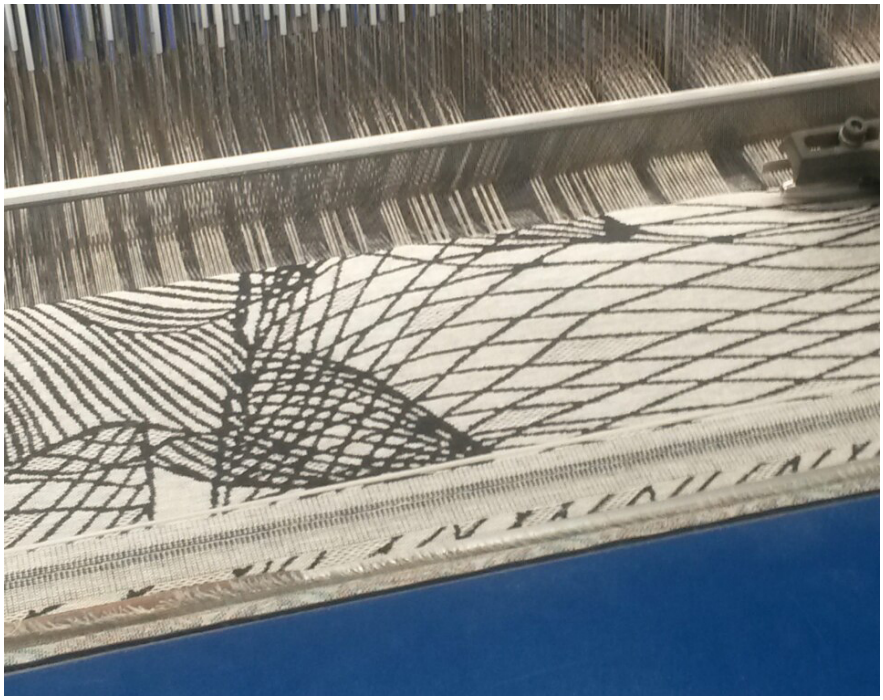


Рисунок 4 – Наработка декоративного покрывала на станке фирмы Picanol

жено использовать три ткацких эффекта: два для белого и один для черного.

Для фона ткани разработано двухслойное переплетение: на внешних сторонах ткани рогожка 2/2, соединение слоев по способу «сверху-вниз» (рисунок 5 *а*); для тонких графических линий белого и черного используется полое строение на базе полотняного переплетения (рисунок 5 *б*).

Полое или мешковое строение в рисунке позволило придать ему рельефность и выделить на плоском фоне. Покрывало получило высокую оценку на художественном совете РУПТП «Оршанский льнокомбинат» и в настоящее время находится в производстве.

Мебельно-декоративные ткани играют важную роль в интерьере, являясь акцентом, поэтому проектирование их структур требует особого подхода. Разработанная структура ткани включает в себя два вида переплетения: в два с половиной слоя и уточный гобелен. Для реализации переплетения в два с половиной слоя один из утков по плотности в нитях на один сантиметр необходимо разделить пополам, первая половина нитей располагается на внешней стороне верхнего слоя, переплетаясь с одной из основ каким-либо переплетением, вторая половина нитей располагается в ткани прямолинейно, не переплетаясь ни с одной из основ, образуя так называемый средний слой. Второй уток переплетается со второй основой в нижнем слое. На рисунке 6 *а* представлен продольный разрез тка-

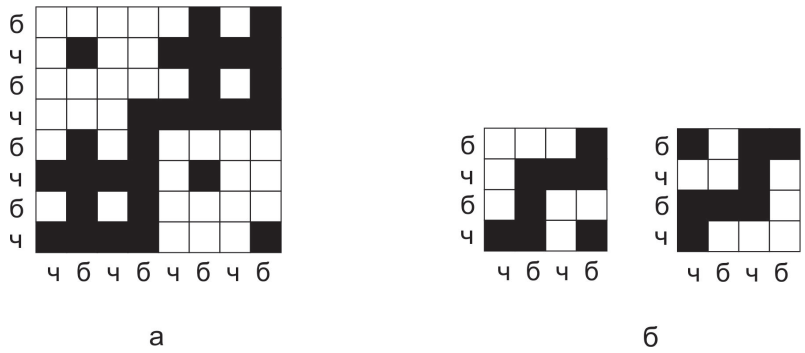


Рисунок 5 – Рисунок переплетений: а – фона, б – тонких графических линий

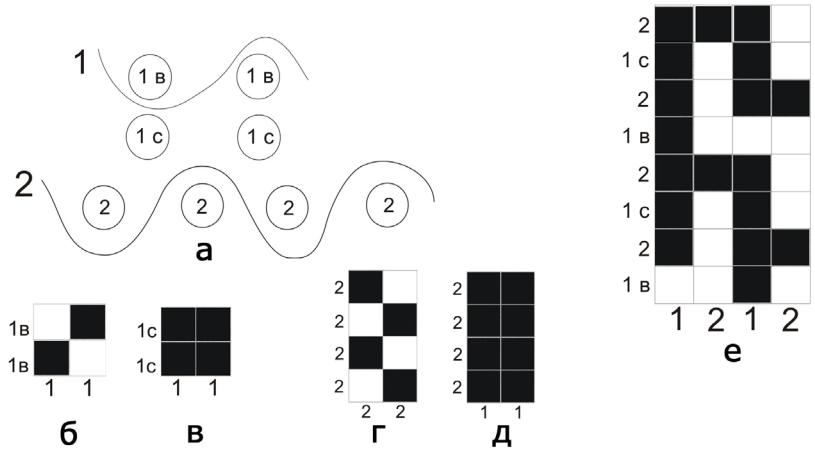


Рисунок 6 – Переплетения в ткани смешанной структуры: а –продольный разрез ткани в два с половиной слоя, б – переплетение утка № 1 с основой № 1 в верхнем слое, в – подъемы основы № 1 при прокладывании утка № 1 в среднем слое, г – переплетение утка № 2 с основой № 2 в нижнем слое, д – подъемы основы № 1 при прокладывании утка № 2 в нижнем слое, е – модельное переплетение

ни, на внешних сторонах которой использовано полотняное переплетение. Уток № 1 разделен на два слоя, в каждом из которых по две нити, в нижнем слое четыре нити утка № 2; соотношение между утками № 1 и № 2 – один к одному. На рисунке 6 *б*, 6 *в* показано переплетение утка № 1 с основой № 1 в верхнем слое и подъемы этой же основы при прокладывании утка № 1 в среднем слое, соответственно. На рисунках 6 *г*, 6 *д* – переплетение утка № 2 с основой № 2 в нижнем слое и подъемы основы № 1 при прокладывании утка № 2, соответственно. На рисунке 6 *е* представлено модельное переплетение, раппорт которого по основе равен 4, по утку – 8.

При использовании в основе и утке № 1 нитей одного цвета, в основе и утке № 2 нитей другого цвета и только полотняного переплетения в рисунке жаккардовой ткани возможно получить три цветовых эффекта: два чистых цвета и один смешанный при переплетении нитей одного и разного цвета.

Уточный гобелен создает в ткани только чистые цветовые эффекты, принадлежащие нитям утка. Впервые предложено в жаккардовой ткани использовать структуру уточного гобелена наряду с другими. Поскольку уработка основных нитей, которые делятся на прижимную и коренную, различна, уточный гобелен должен быть равномерно распределен в узоре, что способствует выравниванию уработок основных нитей. На рисунке 7 представлен продольный разрез (*а*) и модельное переплетение (*б*) для двухуточного гобелена.

В гобелене роль прижимной основы выполняет основа № 1, которая переплетается с утками репсом основным 2/2; роль настилочной – основа № 2. На внешних сторонах ткани будут цветовые эффекты, принадлежащие уткам № 1 и № 2. Двухуточный гобелен при сохранении в качестве прижимной и настилочной тех же основ, но при смене утков на внешних сторонах, создает в ткани второй цветовой эффект. Чистота цветовых эффектов зависит от длины уточного перекрытия при прочих равных условиях: одинаковой линейной плотности уточных нитей в слоях, плотности по утку. Разработано модельное переплетение (рисунок 8 *а*), в котором утки перекрывают семь основных нитей (рисунок 8 *б*), а не четыре, как в переплетении на рисунке 7 *б*.

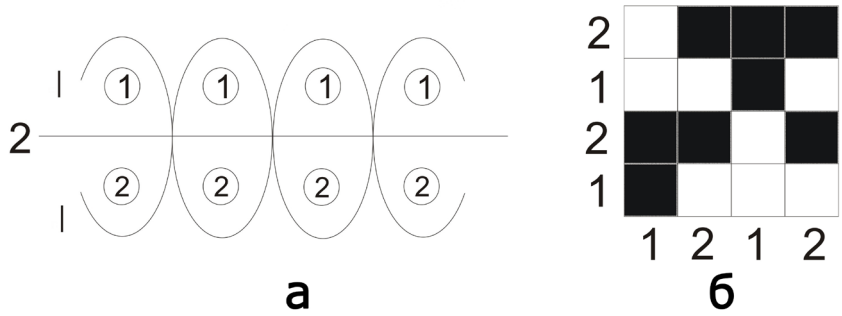


Рисунок 7 – Двухуточный гобелен: а – продольный разрез, б – модельное переплетение

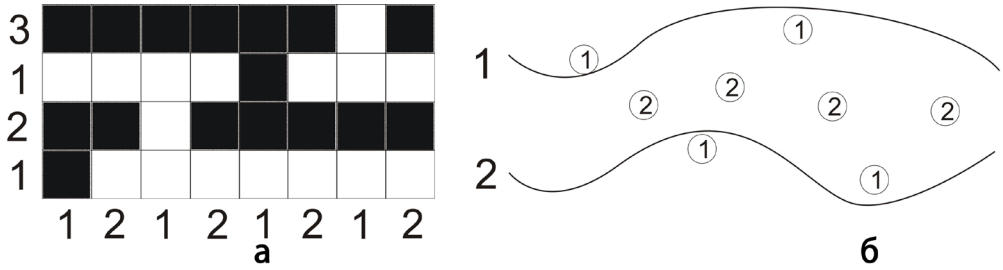


Рисунок 8 – Двухуточный гобелен: а – модельное переплетение, б – поперечный разрез

Часто в жаккардовых тканях для лучшего прочтения рисунка вводят обводку отдельных элементов. В тканях, имеющих в строении две системы основных и уточных нитей, в обводку вводится репсовое переплетение. Одна из основ выполняет роль коренной или настилочной, вторая – прижимной. Утки также делятся на коренной и прижимной. На рисунке 9 представлен продольный разрез (*а*) и модельное переплетение (*б*), создающее в ткани рубчиковый эффект.

Уток № 1 и основа № 2 выполняют роль коренных, уток № 2 и основа № 1 – прижимных. Модельное переплетение имитирует полотняное, в ткани же получается поперечный цветной рубчик.

На рисунке 10 представлены костюмная и мебельная ткани смешанной структуры, включающей двухслойное, в два с половиной слоя, полое и репсовое переплетения.

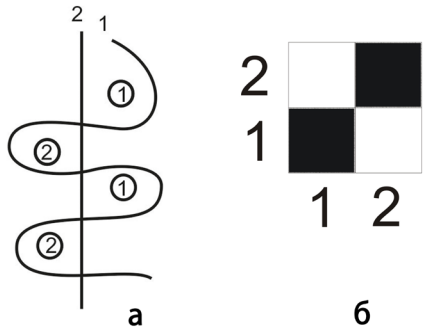


Рисунок 9 – Рубчиковый эффект: а – продольный разрез, б – модельное переплетение

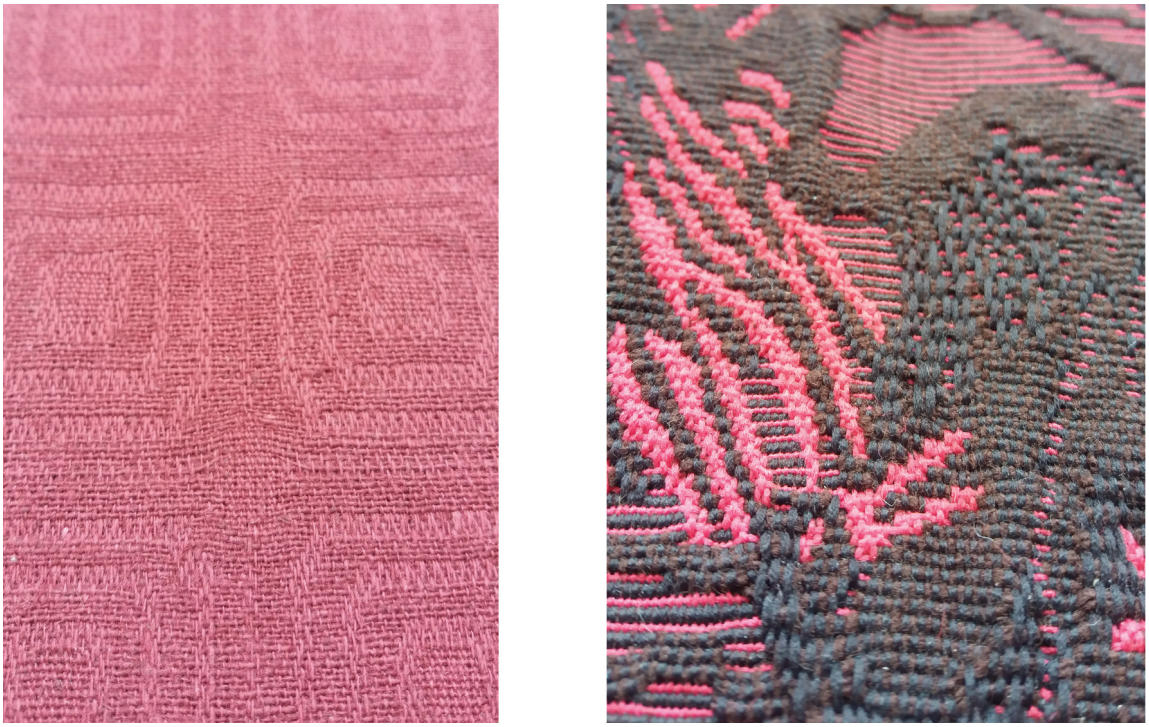


Рисунок 10 – Костюмная и мебельная ткани смешанной структуры

Ткани смешанных структур могут выпускаться как гладкокрашенными, так и цветными, в том и другом случаях прочтение рисунка обеспечивается фактурной ткани, созданной различными видами переплетений.

Таким образом, разработанные рисунки переплетений, сочетающие в себе различные по структуре участки: однослойные, двухслойные, полые, в два с половиной слоя, гобеленовые, репсовые – позволяют создать в ткани современную фактуру, придать рельефность, объемность рисунку. При проектировании ремизных тканей смешанных структур разработаны рекомендации по размещению в мотиве узора однослойных и полых переплетений для выравнивания уработок по сводам. Ассортимент жаккардовых платьево-костюмных, мебельно-декоративных тканей, штучных изделий смешанных структур и успешно внедряется на РУПТП «Оршанский льнокомбинат».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Казарновская, Г. В., Кириллова, И. Л., (2012), Проектирование костюмных тканей с использованием котонированного льна, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Витебск, 2012, № 22, С. 53.

2. Казарновская, Г. В., (2012), Исследование структуры слуцких поясов, *Вестник Витебского государственного технологического университета,* Витебск, 2012, № 23, С. 40.

3. Казарновская, Г. В., Самутина, Н. Н., Абрамович, Н. А., (2014), *Автоматизированные методы проектирования ремизных и жаккардовых тканей*, Витебск, 2014, 262 с.

4. Казарновская, Г. В., Мандрик, А. В., (2017), Двухслойные пледы по мотивам слуцких поясов, *Материалы докладов 50 международной НТК преподавателей и студентов, посвященной году науки*, Витебск, 2017. Т. 2, С. 62.

REFERENCES

1. Kazarnovskaya, G. V., Kirillova, I. L., (2012), Design suiting fabrics and linen kathiravan [Proektirovanie kostyumnykh tkaney s ispolzovaniem kotonirovannogo lna], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, Vitebsk, 2012, № 22, P. 53.

2. Kazarnovskaya, G. V., (2012), Investigation of the structures of Slutsk belts [Issledovanie struktur slutskikh poyasov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, Vitebsk, 2012, № 23, P. 40.

3. Kazarnovskaya, G. V., Samutina, N. N., Abramovich, N. A., (2014), *Automated design methods remesnik and jacquard fabrics [Avtomatizirovannye metody proektirovaniya remiznykh i zhakkardovykh tkaney]*, Vitebsk, 2014, 262 p.

4. Kazarnovskaya, G. V., Mandrik, A. V., (2017), Two-ply blankets on the motives of Slutsk belts [Dvukhsloynye pledy po motivam slutskikh poyasov], C*onference materials of 50 international scientific-technical conferences of teachers and students dedicated to the year of science*, Vitebsk, vol. 2, P. 62.

Статья поступила в редакцию 30. 10. 2017 г.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШКАЛ АНАЛОГОВЫХ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ С НЕЛИНЕЙНЫМ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ МЕХАНИЗМОМ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ГРАВИРОВКИ

PRODUCTION OF DIALS FOR ANALOGUE ELECTRICAL MEASURING INSTRUMENTS WITH NON-LINEAR MEASURING MECHANISM BY MEANS OF LASER ENGRAVING

УДК 621.31

А.Г. Кириллов*, В.Н. Сакевич
Витебский государственный технологический университет

A. Kirillov*, V. Sakevich
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ШКАЛА, ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ, ЛАЗЕРНАЯ ГРАВИРОВКА, ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС

Предметом исследования является сравнительный анализ способов единичного производства шкал электроизмерительных приборов. Исследование проводится с целью улучшения качества изготавливаемых шкал, а также повышения производительности операции нанесения на шкалу информационных знаков и меток.

В работе использовался математический аппарат цифровой обработки изображений и определения положения стрелочного индикатора приборов в режиме реального времени. Для повышения качества изготовления шкал использовался метод лазерной гравировки.

Разработана структура программно-аппаратного комплекса, а также программное обеспечение для управления его работой. Разработан и внедрен в производство программно-аппаратный комплекс для изготовления шкал.

ABSTRACT

DIAL, ELECTRICAL MEASURING INSTRUMENT, MEASURING MECHANISM, LASER ENGRAVING, HARDWARE-SOFTWARE COMPLEX

The subject of this research is a benchmark analysis of methods for single-item production of dials for electrical measuring instruments. The research was held with the aim to improve the quality of produced dials and also to enhance efficiency of printing the information signs and labels onto the dial.

The research uses mathematical tool of digital image processing and the position detection of instrument's pointer indicator in real time. The laser engraving method is used to improve the production quality of dials.

The structure of hardware and software complex is developed as well as software for operation control. Hardware and software complex for production of dials is developed and introduced into manufacturing process.

ВВЕДЕНИЕ

Аналоговые электромеханические электроизмерительные приборы находят широкое применение в энергетике, связи, промышленности, медицине, на транспорте и в других отраслях экономики. Электромеханические измерительные приборы преобразуют входную электрическую величину в механическую энергию поворотного измерительного механизма, на котором жестко закреплен стрелочный указатель (стрелка). Несмотря на широкое распространение приборов с цифровой шкалой, их основным недостатком является невозможность наглядно видеть быстрое изменение измеряемой величины.

При производстве электромеханических приборов сохраняется значительная доля ручного труда, что повышает себестоимость и снижает

* E-mail: *alexkirill@tut.by* (A. Kirillov)

качество приборов. Так, нанесение меток и некоторых информационных знаков на шкалу при традиционном способе ее изготовления осуществляется вручную.

Целью работы является автоматизация изготовления шкал приборов, что позволяет значительно снизить или даже устранить фактор влияния квалификации сборщика на качество шкал, повысить производительность и улучшить качество продукции.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

ОАО «Витебский завод электроизмерительных приборов» серийно выпускает линейку моделей амперметров и вольтметров переменного тока Э8030, Э8032. Типовой вид шкалы этих приборов показан на рисунке 1.

В таких приборах измеряемая величина (обычно сила тока или напряжение) преобразуется посредством измерительного механизма в показание отсчетного устройства. Отсчетное устройство содержит шкалу и стрелку, которая имеет возможность совершать качательное движение. Для того чтобы каждому значению измеряемой величины соответствовал определенный угол поворота стрелки, необходимо вращающий момент измерительного механизма $M_{и.м.}$ уравновесить противодействующим моментом сил упругости возвратной пружины:

$$M_{и.м.} = c \cdot \Delta\alpha, \qquad (1)$$

где c – жесткость возвратной пружины, $\Delta\alpha$ – ее угловая деформация.

Уравнение шкалы прибора – это зависимость угла поворота стрелки от измеряемой физической величины

$$\alpha = f(x). \qquad (2)$$

Сама шкала представляет собой пластину, изготовленную из листа стального холоднокатанного, с нанесенными на нее оцифрованными метками и информационными символами. Функция (2) нелинейна и уникальна для каждого экземпляра электромагнитного измерительного механизма данных приборов. Данное свойство измерительного механизма, с одной стороны, увеличивает трудозатраты на изготовление приборов, а с другой – снижает стоимость.

При традиционном способе изготовления шкал нанесение меток осуществляется вручную. Сборщик устанавливает на прибор заготовку шкалы, на которой уже нанесена методом высо-

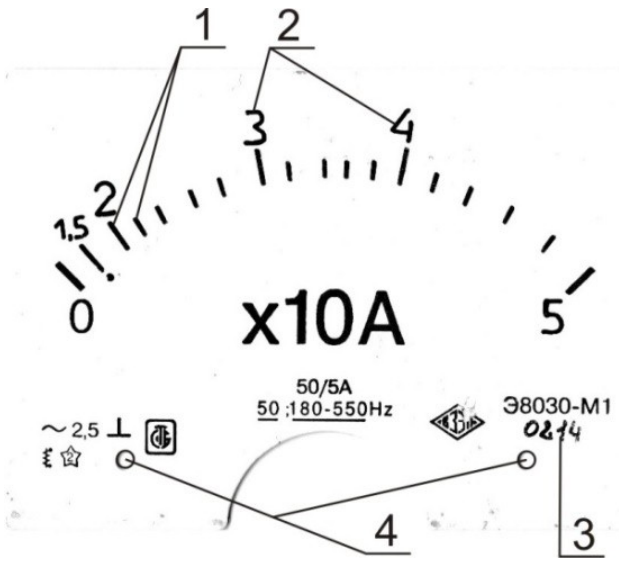


Рисунок 1 – Вид шкалы приборов типов Э8030, Э8032: 1 – метки, наносимые вручную; 2, 3 – информационные знаки, наносимые вручную; 4 – отверстия для крепления шкалы к прибору

кой печати большая часть информации: числа, обозначающие уровни сигнала, и информационные метки. Прибор подключается к калибратору, посредством которого вручную задаются уровни силы тока или напряжения. Сборщик карандашом отмечает метки на шкале по соответствующим положениям стрелки. По завершении этой операции другой сборщик тушью обводит метки, а также наносит некоторые информационные символы.

Такие известные методы нанесения изображений на шкалы приборов, как шелкография, металлографика, сублимационная печать, химическое травление и другие, являются либо непроизводительными при единичном производстве, либо не удовлетворяют требованиям абразивной и химической стойкости, долговечности под действием УФ-излучения и так далее. Предпочтение было отдано гравировальному способу изготовления шкал, который обеспечивает все необходимые показатели качества, точности, производительности, а также обладает положительным экономическим эффектом при внедрении. При сравнении современных лазерных и фрезерных граверов зарубежных фирм преимущество было отдано первому в связи с более высокой производительностью и меньшей чувствительностью к качеству исходной заготовки. Так, для лазерного твердотельного гравера время обработки одной шкалы составило 6 с, для лазерного гравера CO_2 – порядка 20 с, в то время как на фрезерном гравере при значительном времени обработки приемлемое качество не было достигнуто. Точность нанесения информационных меток на лазерном гравере оценивается как 0,02..0,04 мм, что на порядок меньше погрешностей, вносимых на других технологических этапах изготовления шкалы.

РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Для улучшения качества шкал и повышения производительности их изготовления был предложен автоматизированный способ изготовления посредством программно-аппаратного комплекса, структурная схема которого показана на рисунке 2.

К персональному компьютеру посредством интерфейсов USB подключены: оптическое измерительное устройство, калибратор универсальный Н4-101 и лазерный гравер Speedy-100R. Оптическое измерительное устройство служит для видеосъемки шкалы прибора со стрелкой и передачи цифрового видео в режиме реального времени в программу управления комплексом. Калибратор универсальный пред-

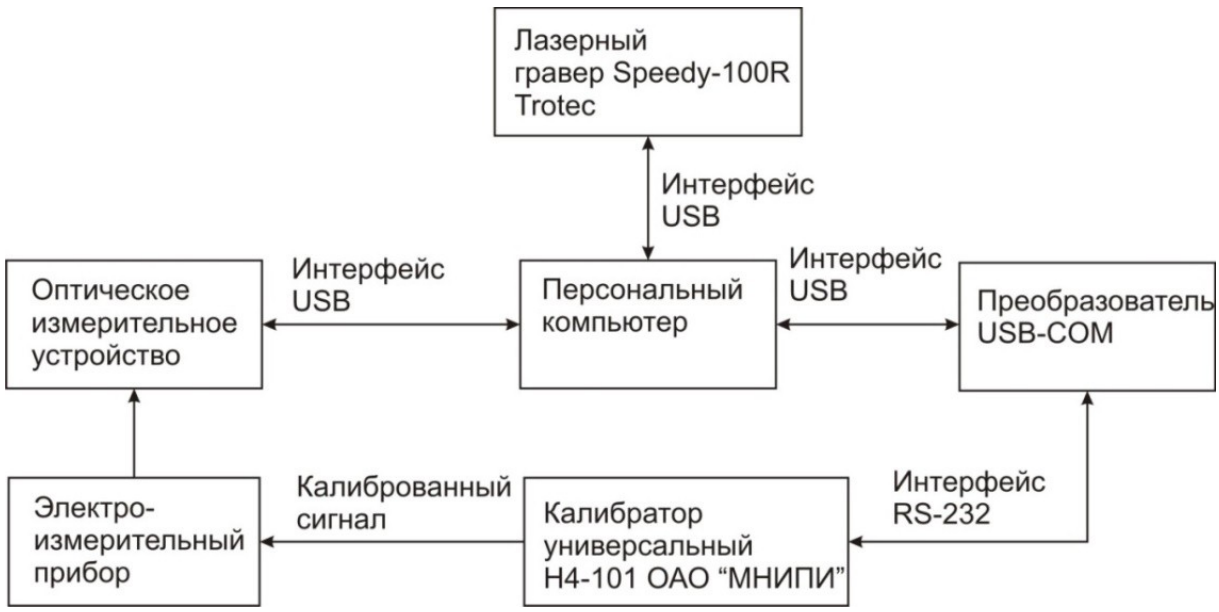


Рисунок 2 – Структурная схема программно-аппаратного комплекса

назначен для преобразования численного значения воспроизводимого сигнала, задаваемого автоматически программой, в аналоговый сигнал с помощью цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) и формирования из этого сигнала выходного тока или напряжения в зависимости от типа прибора. Лазерный гравер служит для нанесения на заготовку шкалы меток и информационных знаков, после чего шкала готова к использованию в приборе.

Схема оптического измерительного устройства показана на рисунке 3.

Электроизмерительный прибор 6 устанавливается в держатель 3, закрепленный в корпусе 12 устройства, и фиксируется поворотными механическими зажимами 1. К корпусу прикреплен также кронштейн 11 с камерой 10, положение которой регулируется по трем координатным осям. Во избежание воздействия внешних источников света на съемку камерой корпус выполнен светонепроницаемым. Искусственное освещение создается светодиодами 9, закрепленными на вертикальном экране 4, который имеет в средней части окно для камеры. Таким образом, исключается прямое попадание света от светодиодов на камеру, и последняя фиксирует только отраженный от технологической шкалы 7 свет. Шкала крепится к прибору 6 вручную двумя нажимными винтами 2 с накатанной головкой. Камера 10 выполняет видеосъемку шкалы. Перед шкалой 7 находится стрелка 8, положение которой изменяется при подаче аналогового электрического сигнала на клеммы 5 прибора.

Пример снимка, полученного с помощью оптического измерительного устройства, показан на рисунке 4.

Для каждого снимка определяется угол наклона стрелки. Зная углы наклона стрелки для всех уровней сигнала, возможно сформировать рисунок шкалы. Необходимость использования технологической шкалы вызвана тем, что она является необходимым элементом воздушного успокоителя стрелки. Последний представляет собой флажок, который крепится на оси стрелки и перемещается в замкнутой полости, образованной дугообразным пазом на корпусе прибора и шкалой. Выпускаются два типа приборов – с воздушным и более эффективным жидкостным успокоителем.

При изменении уровня сигнала стрелка совершает затухающие колебания, описываемые уравнением

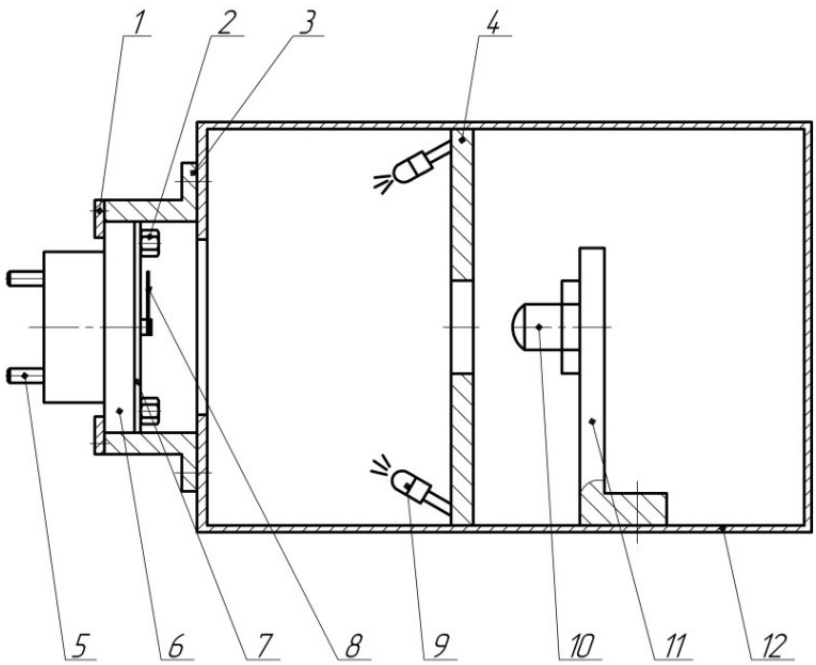


Рисунок 3 – Схема оптического измерительного устройства

$$I_o \cdot \Delta\ddot{\alpha} + k \cdot \Delta\dot{\alpha} + c \cdot \Delta\alpha = 0, \quad (3)$$

где I_0 – приведенный к оси стрелки момент инерции масс подвижных частей измерительного механизма; k – коэффициент сопротивления, зависящий от конструкции успокоителя и устанавливающий соотношение между угловой скоростью стрелки и возникающим при этом моментом сил сопротивления; см. также пояснения к формуле (1). График зависимости (3) изображен на рисунке 5.

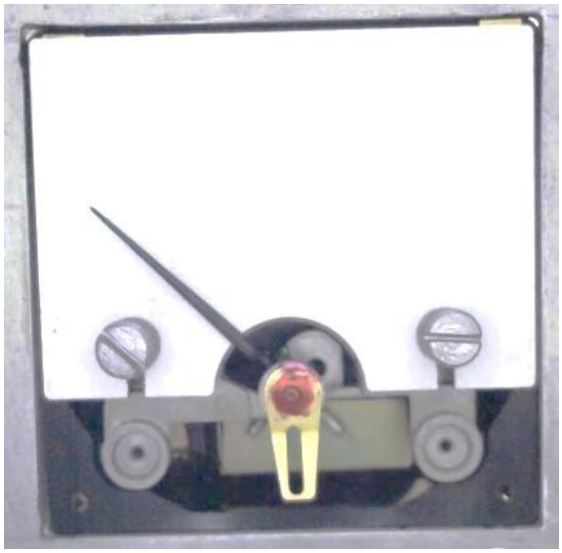


Рисунок 4 – Снимок, полученный с помощью измерительного устройства

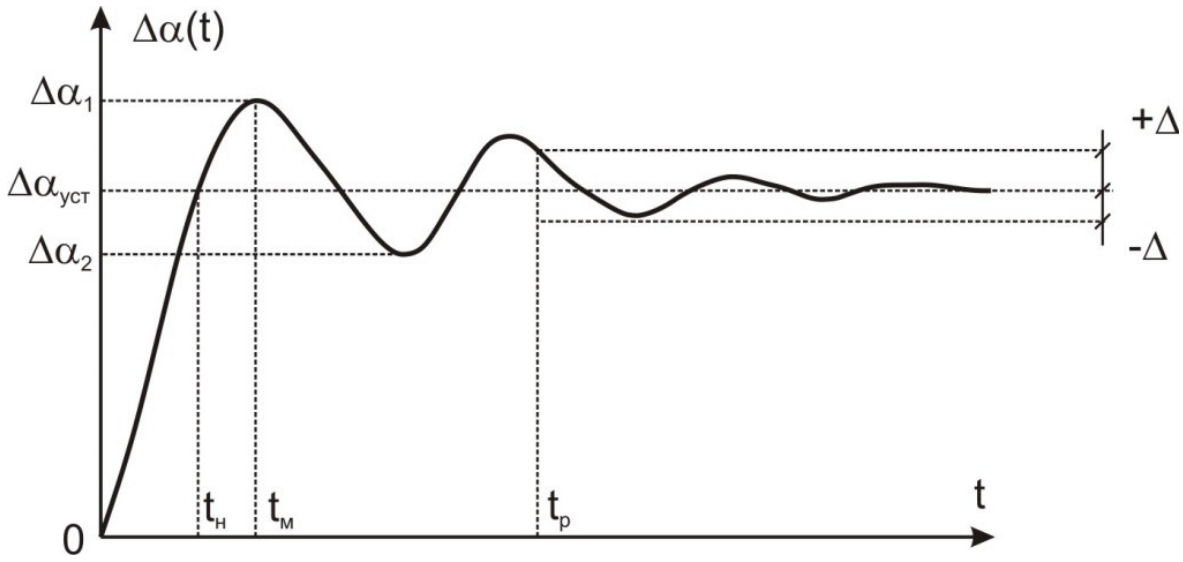


Рисунок 5 – График движения стрелки

Как видно по графику, минимально допустимое время измерения t_p – это время, по истечении которого угол наклона стрелки будет оставаться близким к установившемуся значению с допустимой точностью. Момент времени, при котором угол наклона стрелки достигнет первого максимума, обозначен как $t_м$. Время нарастания переходного процесса $t_н$ – это время от начала переходного процесса до момента первого пересечения графиком линии установившегося значения.

Возникает задача определения абсолютного угла поворота стрелки α с максимальной точностью за минимально возможное время. Решение задачи осложняется следующими факторами: неизвестно начало движения стрелки, что связано с особенностью работы калибратора; постоянные в уравнении (3) для различных приборов существенно различаются; видеокамера при съемке обладает невысоким быстродействием, что может привести к появлению стробоскопического эффекта (кажущейся неподвижности стрелки), а также размытому изображению стрелки. Самое простое решение – установить фиксированную задержку между подачей сигнала на калибратор и моментом обработки кадра – оказалось ненадежным и непроизводительным. Так, калибратор может подавать первые сигналы на прибор с достаточно длительной задержкой, а последующие – с меньшей; успокоение стрелки происходит быстрее в начале шкалы и медленнее – в конце и так далее. Таким образом, требуется гарантированная фиксация следующих событий: стрелка начала движения, то есть угол ее наклона изменился по сравнению с первоначальным; стрелка остановилась, то есть угол ее наклона практически не изменялся на протяжении нескольких последних кадров. Также для повышения точности определения угла наклона стрелки нужно учитывать углы ее наклона на предыдущих кадрах. Учитывая эти соображения, для определения угла наклона стрелки была использована формула экспоненциального скользящего среднего (EMA):

$$\Delta\alpha_t = \beta \cdot p_t + (1-\beta) \cdot \Delta\alpha_{t-1}, \quad (4)$$

где $\Delta\alpha_t$, $\Delta\alpha_{t-1}$ – значения экспоненциального скользящего среднего в точке t и t-1 (последнее и предыдущее измеренное значение угла наклона стрелки соответственно); p_t – значение исходной функции в момент времени t; β – сглаживающая константа или, другими словами, коэффициент, характеризующий скорость уменьшения весов исходной функции, принимающий значение в интервале (0; 1) и подбираемый экспериментально. Использование зависимости (3) в алгоритме обработки видеокадров шкалы позволило в первую очередь отсеивать некоторое количество бракованных приборов на стадии калибровки, например, имеющих дефекты устройства успокоителя.

Проведенные на приборах экспериментальные исследования показали, что погрешность программного определения угла стрелки составляет $0{,}12^0$ (в линейном измерении 0,08 мм для конца стрелки), в то время как для изготавливаемых приборов класса точности 2,5 допустимая погрешность положения стрелки равна $2{,}2^0$. Что касается точности изготовления шкалы, то на нее влияют в первую очередь такие факторы, как погрешность изготовления отверстий для крепления шкалы, погрешность установки прибора в измерительном устройстве, погрешность установки шкалы на плиту лазерного гравера, погрешность изготовления плиты и другие, то есть факторы, носящие механический характер. Тем не менее внедрение комплекса позволило улучшить класс точности приборов с 2,5 до 1,5.

Ключевым в плане программного обеспечения комплекса является также алгоритм определения положения стрелки, описанный ниже и реализованный в пакете прикладных программ Matlab фирмы MathWorks. Данный программный продукт содержит пакет Image Processing Toolbox, который предоставляет широкий спектр средств для цифровой обработки и анализа изображений. Функции этого пакета были использованы для обработки изображений шкал.

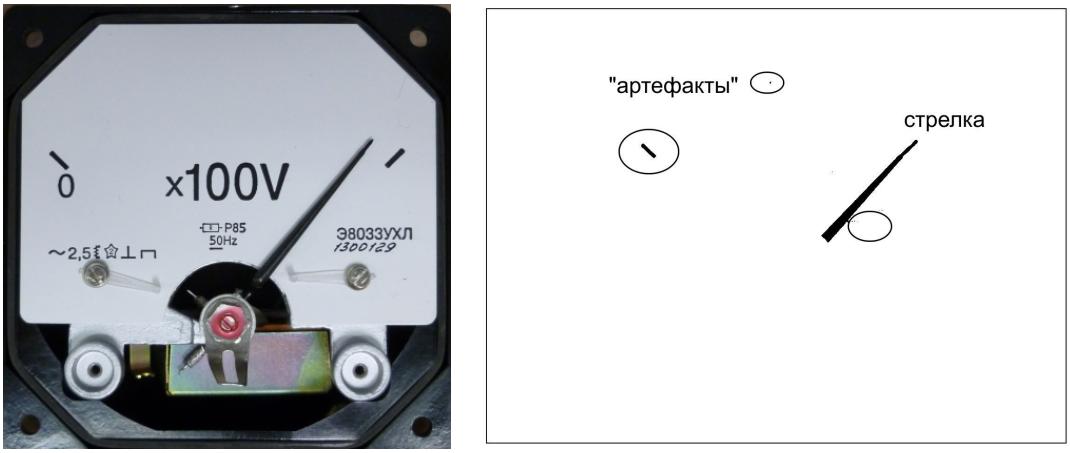
Из потокового видео выделяется одиночный снимок (рисунок 6), который имеет формат аддитивной световой модели RGB. Выполняется преобразование снимка в формат шкалы серого цвета Grayscale, так как цветовая обработка не требуется. Далее производится обрезка изображения таким образом, чтобы на нем оста-

лась только стрелка на белом фоне. Выполняется преобразование изображения в бинарное таким образом, чтобы добиться наибольшей контрастности изображения стрелки на фоне шкалы.

В результате изображение принимает вид, показанный на рисунке 6.

Как видно на рисунке 6, после выполненных этапов обработки изображения имеются так называемые «артефакты», в частности технологические метки, которые необходимо удалить. Вначале вызывается функция, определяющая площадь каждой области изображения, а затем все области, кроме имеющей максимальную площадь, удаляются. После того как на изображении остается только стрелка, определяется угол ее наклона.

На рисунке 7 показаны: вид главного окна и окна выбора шкалы программы управления программно-аппаратным комплексом.



а *б*

Рисунок 6 – Обработка изображения шкалы прибора со стрелкой: а – исходное изображение, б – полученное изображение стрелки и «артефактов», которые обведены кругами

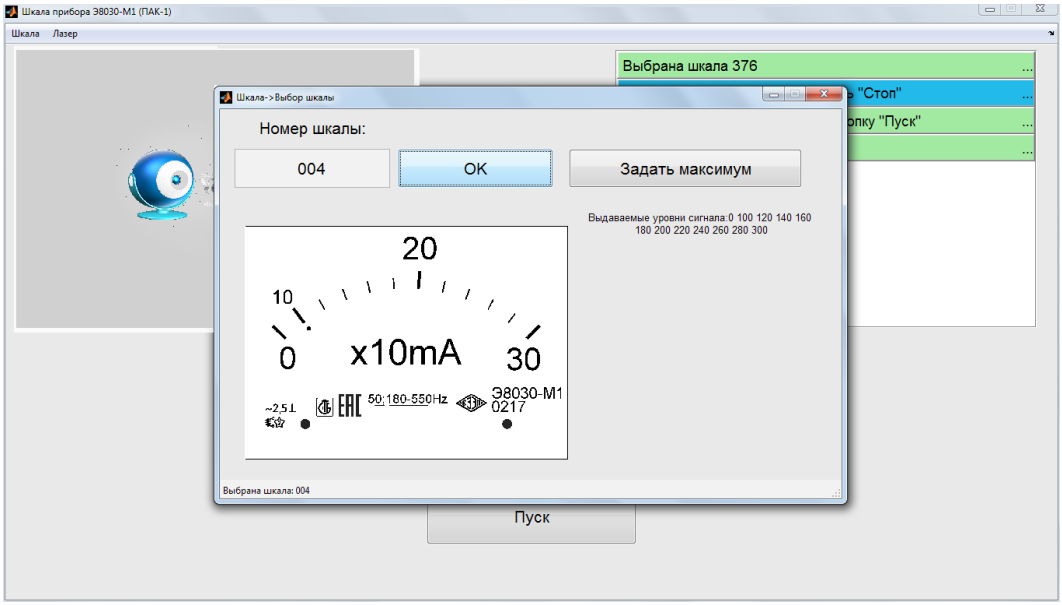


Рисунок 7 – Вид главного окна и окна выбора шкалы

Информация о графических элементах всех изготавливаемых шкал хранится в базе данных. С помощью окна выбора шкалы (рисунок 6) осуществляется выбор шкалы из базы и ее предварительный просмотр. После этого осуществляется подача сигналов на прибор с помощью калибратора в автоматическом режиме. Определяются углы наклона стрелок для каждого сигнала. После этого формируется индивидуальный рисунок шкалы, который ставится в очередь для печати на лазерном гравере.

В настоящее время ручное изготовление индивидуальной шкалы для стрелочного прибора серии Э занимает в среднем 11 мин/шт., а на других сериях ещё больше. После внедрения программно-аппаратного комплекса для автоматизированного изготовления циферблата, настройки и поверки стрелочных указателей время изготовления одной шкалы заняло порядка 50 с, то есть сократилось в 13,2 раза. Анализ источников информации показал, что аналоги готовых автоматизированных систем изготовления циферблата, настройки и поверки стрелочных указателей с индивидуальной шкалой в РБ и за рубежом отсутствуют. Идеи, положенные в созданную инновацию, защищены патентом РБ № 13628 от 2008.04.23 «Способ автоматической поверки стрелочного измерительного прибора с матричной системой отображения информации и устройство для его осуществления».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполнен сравнительный анализ способов и технологий изготовления шкал электроизмерительных приборов. Выяснено, что наиболее производительным при единичном производстве является способ лазерной гравировки. Разработан и изготовлен программно-аппаратный комплекс для лазерной гравировки шкал приборов с электромагнитным нелинейным измерительным механизмом. Производительность изготовления шкалы по сравнению с используемым способом повысилась в 13,2 раза. Класс точности приборов благодаря используемому алгоритму определения угла поворота стрелки, а также применению способа лазерной гравировки улучшен с 2,5 до 1,5. Значительно улучшилось визуально качество печати шкал. Программно-аппаратный комплекс расположен на одном рабочем месте и в настоящее время применяется на ОАО «ВЗЭП» при изготовлении шкал амперметров и вольтметров переменного тока типов Э8030 и Э8032.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гонсалес, Р., Вудс, Р., Эддинс, С. (2006), *Цифровая обработка изображений в среде MATLAB*, Москва, Техносфера, 616 с.

2. Лайонз. Р. (2006), *Цифровая обработка сигналов,* Москва, ООО «Бином пресс», 656 с.

3. Демидова-Панферова, Р. М., Малиновский, В. Н., Попов, В. С. и др. (1982), *Электрические измерения*, Москва, Энергоиздат, 392 с.

REFERENCES

1. Gonsales, R., Vuds, R., EHddins, S. (2006), *Cifrovaya obrabotka izobrazhenij v srede MATLAB* [Digital Image Processing using MATLAB], Moscow, Tekhnosfera, 616 p.

2. Lajonz, R. (2006), *Cifrovaya obrabotka signalov* [Digital Signal Processing], Moscow, OOO «Binom press», 656 p.

3. Demidova-Panferova, R. M., Malinovskij, V. N., Popov, V. S. (1982), *EHlektricheskie izmereniya* [Electrical measurements], Moscow, EHnergoizdat, 392 p.

Статья поступила в редакцию 23. 02. 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ТРИКОТАЖНЫХ ПОЛОТЕН С КОМБИНИРОВАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИМИ НИТЯМИ И ПРЯЖЕЙ

INVESTIGATION OF ELECTRO-MAGNETIC PROPERTIES OF KNITTED FABRICS WITH COMBINED ELECTRO-CONDUCTIVE YARNS

УДК 677.017:514.7

П.А. Костин[1]*, Е.Г. Замостоцкий[2]
[1] Витебский государственный технологический университет
[2] Международный университет «МИТСО»

P. Kostsin[1]*, Y. Zamostotskiy[2]
[1] Vitebsk State Technological University
[2] International University «MITSO»

РЕФЕРАТ

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩАЯ ПРЯЖА, ЭКРАНИРОВАНИЕ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ, ТРИКОТАЖНЫЕ ПОЛОТНА, КОМБИНИРОВАННАЯ НИТЬ, ПРЯДЕНИЕ, КРУЧЕНИЕ

Научная статья посвящена исследованию электромагнитных свойств трикотажных полотен специального назначения с комбинированными электропроводящими нитями и пряжей. В статье приведены основные показатели физико-механических и электрических свойств электропроводящих нитей, пряжи и трикотажных полотен специального назначения. Описаны результаты эксперимента по определению влияния различных переплетений и физико-механических свойств трикотажных полотен на электромагнитные свойства. Установлено, что для достижения максимальной экранирующей способности при частоте 2 ГГц наиболее целесообразно вырабатывать трикотажное полотно с переплетением «кулирная гладь» с максимально возможной плотностью пряжи.

ABSTRACT

ELECTRO-CONDUCTIVE YARN, SCREENING, ELECTRO-MAGNETIC FIELD, KNITTED FABRICS, COMBINED YARNS, SPINNING, TWISTING

The article is devoted to the investigation of electromagnetic properties of knitted fabrics for special purposes with the combined electro-conductive yarns. In the article main indices of physical-mechanical and conductive properties of the conductive yarns and knitted fabrics for special purposes are described. The results of experiments, determining influence of different weaves and physical-mechanical properties of knitted fabrics on their electromagnetic properties are described. The optimal weave was found which allows reaching of maximal shielding effect by frequency 2GHz with the maximal yarn density.

Эксплуатационные показатели технических трикотажных полотен обусловлены их назначением. К таким показателям относятся водо- и воздухопроницаемость, электропроводность и электризуемость, термо-, свето- и устойчивость к химическим реагентам, прочность связи с покрытием, линейная усадка от воздействия температур, стабильность релаксационных свойств при работе в условиях нагрузок, не превышающих 10 % от разрывных [1]. К внешнему виду технических трикотажных полотен не предъявляют таких жестких требований, как к внешнему виду бытовых трикотажных полотен.

С появлением электрических и электронных устройств во всем мире защита от электромагнитных волн, излучаемых приборами, является одной из главных задач, которую необходимо решить. Среди различных предлагаемых ре-

* E-mail: *vortix@bk.ru* (P. Kostsin)

шений, текстильные изделия и основанные на тканях композиционные материалы получили наиболее широкое распространение из-за универсальности этих текстильных материалов [1]. Трикотажные материалы, содержащие металлизированные волокна, отличаются высокой эластичностью и ударостойкостью в условиях жесткой эксплуатации, что обеспечивается петельной структурой волокна. Например, в США разработаны и применяются вибро- и ударопоглощающие детали на основе такого трикотажа. С их помощью производится защита электронных систем самолетов и вращающихся радарных антенн. Различные уплотняющие материалы (прокладки, виброизоляторы) можно использовать в ракетной технике [2]. Иногда металлизированные и металлические волокна комбинируют с асбестом, что резко повышает механические свойства. Кроме того, имеются образцы трикотажных полотен, предназначенные для защиты от электромагнитного излучения [3].

Целью данной работы является определение наилучших показателей трикотажных полотен с комбинированными электропроводящими нитями для экранирования электромагнитного излучения.

Основной источник электромагнитного излучения – это электрические сигналы, испускаемые различными приборами. Электромагнитное излучение испускают компоненты катушек индуктивности, цифровые устройства и высоковольтные провода, несущие большой переменный ток в энергетических частотах, которые способны к испусканию СВЧ волн, мобильные телефоны. Излучение в ультравысоком частотном диапазоне – от 300 МГц до 3 ГГц – возникает при использовании мобильной связи. Операторы сотовой связи, которые работают в Республике Беларусь, используют диапазон частот 450, 900, 1800 МГц, кроме того, у нас появился 3G и 4G, который использует частоту чуть выше 2 ГГц. Для решения проблемы защиты от электромагнитных волн необходимо экранировать (отражать) эти виды излучений [3].

В УО «ВГТУ» разработаны две технологии получения комбинированных электропроводящих нитей, которые подходят для получения тканей и трикотажных изделий с экранирующим и антистатическим эффектом. Сырьевой состав используемых комбинированных электропроводящих нитей представлен в таблице 1. Физико-механические и электрофизические свойства полученных комбинированных электропроводящих нитей представлены в таблице 2.

В качестве исходного сырья для комбинированной электропроводящей нити под номером 1 (таблица 1) используется медная микропроволока диаметром 0,05 (линейная плотность 18 текс) и комплексные химические нити. Сущность первой технологии заключается в получении на первом переходе тростильно-крутильных машин двухкомпонентной нити с электропроводящим элементом, скрученных с правым направлением крутки. На втором этапе происходит скручивание образованного полуфабриката в обратном направлении (левом) с комплексной химической нитью для получения стабильной структуры нити [4]. Данный способ получения комбинированной электропроводящей нити позволяет за счет вывода металлической микропроволоки на

Таблица 1 – Процентное содержание компонентов комбинированных электропроводящих нитей

№ образца	**1**		**3**		**4**	
Компонент	**Комбинированная электропроводящая нить $T = 55$ текс**		**Комбинированная электропроводящая нить $T = 44$ текс**		**Комбинированная электропроводящая нить $T = 60$ текс**	
	текс	**%**	**текс**	**%**	**текс**	**%**
Медная микропроволока	18	32,7	18	40,9	18	30
Комплексная полиэфирная нить	34,6(5,2+29,4)	67,3	5,2	11,8	5,2	8,6
Хлопковое волокно	_	_	20,8	47,3	20	54,5

поверхность электропроводящей нити повысить электрофизические свойства комбинированной нити.

Для производства комбинированных электропроводящих нитей по второй технологии (образцы № 2 и № 3 таблица 1) в качестве исходного сырья используются хлопковые волокна и медная микропроволока диаметром 0,05 мм линейной плотности 18 текс в качестве электропроводящего компонента. Комбинированная электропроводящая нить формируется по кардной системе прядения хлопка с применением модернизированной пневмомеханической прядильной машины ППМ-120МС с полым ротором. Сущность технологии получения комбинированных электропроводящих нитей состоит в том, что в рабочую зону прядильной камеры вместе с дискретным потоком волокон подается с определенной постоянной скоростью медная микропроволока, которая обкручивает формируемую в камере пряжу. Полученная комбинированная электропроводящая нить выводится из камеры и наматывается на бобину [4].

На основе литературного анализа было установлено, что необходимый уровень экранирования электромагнитного излучения для использования в военных, электронных, бытовых и других отраслях составляет приблизительно от 90 до 99,99 %. Трикотажные полотна с такой эффективностью экранирования были бы эффективным решением для защиты человека и электронных приборов от электромагнитного излучения и электромагнитных помех [5].

На имеющемся в УО «ВГТУ» оборудовании «ПВРК» и «О3ГА» были получены 15 образцов трикотажных полотен с использованием комбинированных электропроводящих нитей (таблица 3). Были выбраны наиболее простые и часто используемые переплетения кулирная гладь, ластик 1+1 и полуфанг. Данные образцы трикотажных полотен проверялись на экранирующие и физико-механические свойства.

Для полученных образцов были установлены физико-механические характеристики, которыми должны обладать материалы для экранирования электромагнитных волн:

- низкая воздухопроницаемость, так как чем ниже воздухопроницаемость, тем плотнее петельная структура трикотажа, следовательно, полотно будет меньше пропускать электромагнитные волны;
- высокая прочность, так как данный трикотаж предполагается использовать в качестве чехла на мобильный телефон;
- наименьшая необратимая деформация, для того, чтобы при многократном использовании сохранял первоначальный вид и чтобы при снятии с телефона чехол имел красивый внешний

Таблица 2 – Физико-механические свойства комбинированных электропроводящих нитей различного способа формирования

Компонент	Комбинированная электропроводящая нить $T = 55$ текс	Комбинированная электропроводящая нить $T = 44$ текс	Комбинированная электропроводящая нить $T = 60$ текс
Абсолютная разрывная нагрузка $Pн$, сН	1700	580	760
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке $CVPн$, %	7,5	4,8	5,5
Разрывное удлинение $Pу$, %	14-16	10-14	10-14
Коэффициент вариации по разрывному удлинению $CVPу$, %	4,5	4,24	3,9
Электрическое сопротивление пряжи длиной 1 см $R_{1см}$, Ом	$1,2 \cdot 10^2$	$1,2 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$

вид;

- достаточная растяжимость, чтобы чехол держался на мобильном телефоне и не спадал при эксплуатации.

Результаты испытаний трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей представлены в таблице 4.

Таблица 3 – Характеристика образцов трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей

Номер образца	Линейная плотность пряжи, текс	№ варианта пряжи	Наличие лайкры	Переплетение	Оборудование
1	44	2	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
2	44	2	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
3	44	2	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
4	60	3	Нет	Кулирная гладь	«ПВРК»
5	60	3	Да	Кулирная гладь	«ПВРК»
6	44	2	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
7	44	2	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
8	60	3	Нет	Ластик 1+1	«ПВРК»
9	60	3	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»
10	44	2	Нет	Полуфанг	«ПВРК»
11	60	2	Да	Кулирная гладь	«О3ГА»
12	44	2	Да	Кулирная гладь	«О3ГА»
13	44	2	Нет	Кулирная гладь	«О3ГА»
14	55	1	Да	Кулирная гладь	«О3ГА»
15	55	1	Да	Ластик 1+1	«ПВРК»

Таблица 4 – Результаты испытаний трикотажных полотен из комбинированных электропроводящих нитей

Номер образца	Плотность по вертикали	Плотность по горизонтали	Поверхностная плотность, г/м^2	Воздухопроницаемость дм^3/м^2 • с
1	70	50	181,14	4200±200
2	90	55	176,29	3500±200
3	95	90	361,00	920±70
4	120	54	166,56	3400±100
5	110	92	327,31	790±70
6	127	42	225,75	7700±100
7	185	86	611,15	690±70
8	164	44	241,32	3400±200
9	96	74	564,21	620±70
10	96	33	240,20	3400±200
11	140	102	405,79	770±60
12	110	100	357,50	780±20
13	110	56	226,32	2150±70
14	120	106	340,45	670±50
15	152	72	578,11	610±50

Проанализировав таблицу 4 в соответствии с приведенными выше характеристиками, определили, что наилучшими свойствами для экранирования обладают образцы 11, 12, 14, а наихудшими – 1, 2, 6.

Для проведения испытаний отражения электромагнитных излучений из трех образцов (11, 12 и 14) был отобран образец под номером 12 (рисунок 1), обладающий следующими характеристиками:

- сырье – комбинированная электропроводящая нить 44 текс пневмомеханического способа формирования + лайкра;
- переплетение – кулирная гладь;
- оборудование – «О3ГА» кругловязальный автомат 8-го класса с диаметром цилиндра 1¾ дюйма.

Образец трикотажного полотна № 12 был исследованы в сертифицированной лаборатории РУП «БелГИМ» на диапазонах частот от 1,2 до 11 ГГц на объемное удельное электрическое сопротивление.

Ослабление электромагнитного излучения, вносимое образцом трикотажного полотна $\boldsymbol{D}$, дБ и $\boldsymbol{\sigma}$, %, определялись в соответствии с формулами:

$$D = 10lg\frac{П_{изм}}{П_э}\ , \qquad (1)$$

$$\sigma = 100 * \frac{P_э - P_{изм}}{P_э}\ , \qquad (2)$$

где $\boldsymbol{П}_{изм}$ – измеренная плотность потока энергии, мкВт/см^2; $\boldsymbol{П}_э$ – эталонная плотность потока энергии, мкВт/см^2; $\boldsymbol{\sigma}$ - проводимость трикотажного полотна 1/Ом*см; $\boldsymbol{P}_э$ – эталонный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт; $\boldsymbol{P}_{изм}$ – измеренный уровень мощности электромагнитного поля, мкВт.

На рисунке 2 представлена графическая зависимость экранирования электромагнитного излучения образцом трикотажа в % от частоты электромагнитных волн в ГГц.

В результате анализа зависимости экранирования электромагнитного излучения от частоты электромагнитных волн установлено, что образец одинаково хорошо экранирует электромагнитное излучение на частотах 1,2–4 ГГц разных диапазонов частот, не пропуская 94,27–98,79 % электромагнитных волн. Максимальное

Рисунок 1 – Фотография образца трикотажного полотна № 12

значение экранирования электромагнитного поля – 98,79 % показывает образец при частоте 2 ГГц. Минимальное значение экранирования электромагнитного поля показывает образец 45,66 % при частоте 11,5 ГГц.

Результаты измерения ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа, представлены в таблице 5.

На рисунке 3 представлена графическая зависимость ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажного полотна в дБ от частоты электромагнитных волн в ГГц.

Анализируя зависимость ослабления электромагнитного поля вносимого образцом трикотажа от частоты электромагнитных волн можно сказать, что образец трикотажного полотна существенно ослабляет электромагнитный поток на частотах от 1,2 до 4 ГГц. Максимальное ослабление электромагнитного потока 19,2 дБ образец показывает при частоте 2 ГГц. Минимальное ослабление электромагнитного потока 2,65 дБ образец показывает при частоте 11,5 ГГц.

Установлено, что исследуемый образец трикотажного полотна защищает от электромагнитного излучения, не пропуская 94,3–98,9 % излучения электромагнитных волн на диапазонах частот от 1,2 ГГц до 4 ГГц.

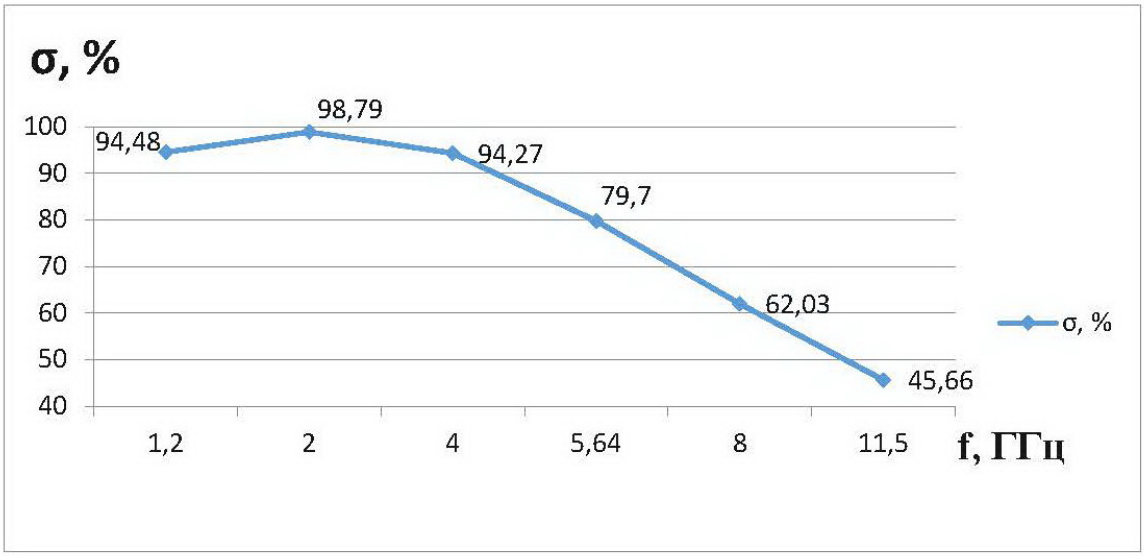


Рисунок 2 – Зависимость экранирования электромагнитного излучения образцом трикотажа в % от частоты электромагнитных волн в ГГц

Таблица 5 – Результаты измерения ослабления электромагнитного поля, вносимого образцом трикотажа

Частота, ГГц	Эталонное электромагнитное поле		Электромагнитное поле за образцом	
	Уровень мощности $P_э$, мкВт	Плотность потока энергии $П_э$, мкВт/см^2	Уровень мощности $P_{изм}$, мкВт	Плотность потока энергии $P_{изм}$, мкВт/см^2
1,2	8860	33,18	489	1,83
2	7670	42,05	92,6	0,51
4	6460	48,03	370	2,75
5,64	467	8,65	94,8	1,76
8	1280	23,1	486	8,77
11,5	703	14,26	382	7,75

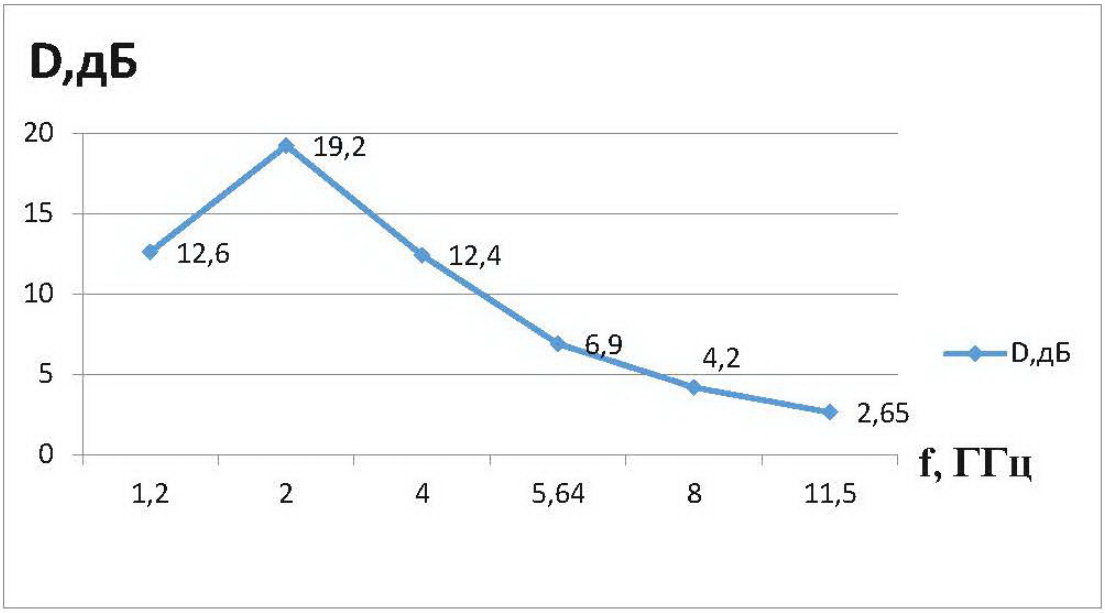


Рисунок 3 – Ослабление электромагнитного поля, вносимое образцом трикотажного полотна в Дб от частоты электромагнитных волн в ГГц

Таким образом, установлено, трикотажные полотна из комбинированных электропроводящих нитей обладают значительным экранирующим эффектом и чем плотнее располагаются в трикотажных полотнах электропроводящие нити, тем больше энергии электромагнитных волн отражается.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Cheng, K. B Cheng, T. W., Lee, K. C, Uieng, T. H. and Hsing, W. H. (2003), Effect of Yarn Constituent and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, Composites Part A 2003. 34(10): 971–978.

2. Трикотажный материал для изготовления защитной от электромагнитного излучения одежды [Электронный ресурс] / Патентный поиск. - Режим доступа: http://www.findpatent.ru/patent/201/2012697.html - Дата доступа 20.10.2017.

REFERENCES

1. Cheng, K. B Cheng, T. W., Lee, K. C, Uieng, T. H. and Hsing, W. H. (2003), Effect of Yarn Constituent and Fabric Specifications on Electrical Properties of Hybrid Woven Fabrics, Composites Part A 2003. 34(10): 971–978.

2. Knitted material for the manufacture of protective clothing from electromagnetic radiation [electronic resource] [Trikotazhnyiy material dlya izgotovleniya zaschitnoy ot elektromagnitnogo izlucheniya odezhdyi] [Electronnyj resurs] / Patentnyiy poisk. – Rezhim dostupa: http://www.findpatent.ru/

3. Ueng. T. H. and Cheng, K. B. (2001), Friction Core Spun Yarns for Electrical Properties of Woven Fabrics, Composites Part A. 32(10): 1492–1496.

4. Замостоцкий, Е. Г., Костин, П. А., Коган, А. Г. (2007), Технология получения комбинированных термостойких электропроводящих пряжи и нитей для тканей специального назначения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2011, № 20. С. 56–64.

5. Kostin, P. A., Dyagilev, A. S. & Kogan, A. G. (2012), Optimization of the discretization process in the production of an electrically conducting heat-resistant combination yarn, Fibre Chemistry 43: 362.

patent/201/2012697.html - Data dostupa 20.10.2017.

3. Ueng. T. H. and Cheng, K. B. (2001), Friction Core Spun Yarns for Electrical Properties of Woven Fabrics, Composites Part A. 32(10): 1492–1496.

4. Zamostotskiy, E. G., Kostin, P. A., Kogan, A. G. (2007), The technology of manufacturing of thermo resistant electro conductive yarns and threads for fabrics of special purposes [Tehnologiya polucheniya kombinirovannyih termostoykih elektroprovodyaschih pryazhi i nitey dlya tkaney spetsialnogo naznacheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Tehnological University*, 2011, № 20. pp. 56–64.

5. Kostin, P. A., Dyagilev, A. S. & Kogan, A. G. (2012), Optimization of the discretization process in the production of an electrically conducting heat-resistant combination yarn, Fibre Chemistry 43: 362.

Статья поступила в редакцию 21. 09. 2017 г.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШНЕКОВЫХ МАШИН ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ ПЛАСТИЧНЫХ СРЕД

DESIGN TECHNIQUE OF SCREW-TYPE MACHINES FOR EXTRUSION OF PLASTIC MEDIA

УДК 621.762

В.В. Пятов*, А.Н. Голубев, П.С. Ширяев
Витебский государственный технологический университет

V. Pyatov*, A. Holubeu, P. Shyrayeu
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЭКСТРУЗИЯ, ШНЕКОВЫЕ МАШИНЫ, ПЛАСТИЧНЫЕ СЖИМАЕМЫЕ СРЕДЫ, ФОРМУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ, СИЛОВОЙ ШНЕК, МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Предметом исследования является методика расчета геометрических параметров и последовательность проектирования формующего инструмента и силового шнека экструдера для переработки пластичных сжимаемых сред.

Разработанная методика построена на основе теоретической модели, связывающей реологические свойства и триботехнические характеристики перерабатываемого материала с геометрией канала шнека и формующего инструмента экструдера. Даны примеры выполнения расчетов при проектировании экструдера, приведено краткое описание разработанного прикладного приложения для автоматизации проектирования.

Разработанная методика позволяет проектировать шнековые машины для экструзии пластичных сред с оптимальными геометрическими параметрами формующего инструмента и силового шнека, а ее реализация в виде прикладной САПР позволяет сократить время на подготовку трехмерных моделей и выпуск конструкторской документации. Результаты работы могут быть использованы при проектировании специализированного оборудования для шнековой экструзии изделий из композиционных материалов.

ABSTRACT

EXTRUSION, SCREW-TYPE MACHINES, PLASTICIZED COMPRESSIBLE MATERIALS, FORMING TOOL, EXTRUDER SCREW, DESIGN DEVELOPMENT TECHNIQUE

The subject of the study is calculating technique and design technique for geometric parameters of forming tool and screw of the extruder for plasticized compressible materials processing.

The developed technique is based on a theoretical model linking the rheological and tribotechnical properties of material with geometric parameters of screw channel and forming tool of extruder. Examples of performing this kind of calculations and brief description of developed software application are given.

The developed technique and software allows designing screw-type extruders for plasticized materials with optimal geometric parameters of forming tool and power screw, and allows reducing the time for 3D-modelling and drafting. The results of the work can be used in the design of specialized equipment for screw extrusion of composite materials.

* E-mail: *pyatov@tut.by* (V. Pyatov)

Шнековые машины для переработки материалов методом экструзии применяются очень широко в различных отраслях: в химической, легкой промышленности [1], при переработке полимеров, в пищевой промышленности, в порошковой металлургии, и имеют общие конструктивные признаки. Однако оборудование, рассчитанное на формование материалов определенного состава, как правило, оказывается малоэффективным при переработке на нем других материалов. Это, в свою очередь, приводит к тому, что для переработки каждого вида материала требуется подбирать, часто экспериментальным путем, оптимальные геометрические характеристики формующих головок, силовых шнеков, а также определять оптимальные режимы переработки [2].

Исторически сложилось так, что теория шнековой экструзии развивалась по отдельности в разных отраслях народного хозяйства, в зависимости от свойств перерабатываемых материалов. В связи с широким применением шнековых экструдеров для производства полимерных изделий хорошо развита теория экструзии вязких жидкостей [3], позволяющая рассчитывать и проектировать формующие головки и шнеки для переработки термопластов. Однако невозможно прямое заимствование этой теории для процессов переработки других материалов, например, пластифицированных порошковых композиций, поскольку по реологическим и технологическим свойствам такие материалы сильно отличаются от расплавов полимеров. Существуют специализированные программные пакеты для компьютерного моделирования процесса экструзии (например, наиболее известны Qform Extrusion, Compuplast Virtual Extrusion Laboratory, Click2Extrude), выполняющие расчеты с применением метода конечных элементов (МКЭ). Область применения таких программных средств также, как правило, ограничивается экструзией изделий из полимеров и цветных металлов.

Современное промышленное производство требует как легко перенастраиваемого многофункционального оборудования для экструзии, так и универсальных методик его расчета и проектирования. В работе [4] приведены теоретические основы экструзии сжимаемых пластичных сред. Разработанная теоретическая модель учитывает реологические свойства и триботехнические характеристики перерабатываемого материала, определяемые с помощью специальных экспериментальных методик, и связывает их с оптимальной геометрией канала шнека и формующей головки экструдера.

Для практического применения теории необходимо разработать научно обоснованную технологию проектирования шнекового оборудования и реализовать ее в виде автоматизированной системы проектирования. В данной работе рассмотрена методика расчета конструктивных параметров и последовательность проектирования формующего инструмента и силового шнека экструдера для переработки пластичных сжимаемых сред.

На первом этапе проектирования должны быть определены геометрические параметры формующего инструмента (матрицы). Зона деформации материала формующим инструментом схематично показана на рисунке 1.

Формуемый материал (рисунок 1) выдавливается (слева направо по схеме) через зазор, образованный внутренней поверхностью матрицы 1 и наружной поверхностью дорна 2. Матрица имеет коническую (входную) часть длиной z_1 и цилиндрическую (калибрующую) часть длиной $z_2 - z_1$. Радиусы входного и выходного сечений матрицы r_2 и r_1, угол наклона образующей конуса α, радиус дорна r_0. Предполагается, что дорн перемещается в процессе экструзии вместе с материалом.

На материал действует усилие выдавливания, вызывающее напряжения σ_z, которые однородно распределены в поперечных сечениях. На внутренней поверхности матрицы действуют нормальные напряжения σ и касательные напряжения τ. На поверхности дорна действуют нормальные напряжения σ_r, касательные напряжения отсутствуют. Направления главных нормальных напряжений совпадают с координатными направлениями.

В цилиндрической части матрицы материал находится в состоянии упругой разгрузки с элементами пластического течения, при этом справедливо соотношение

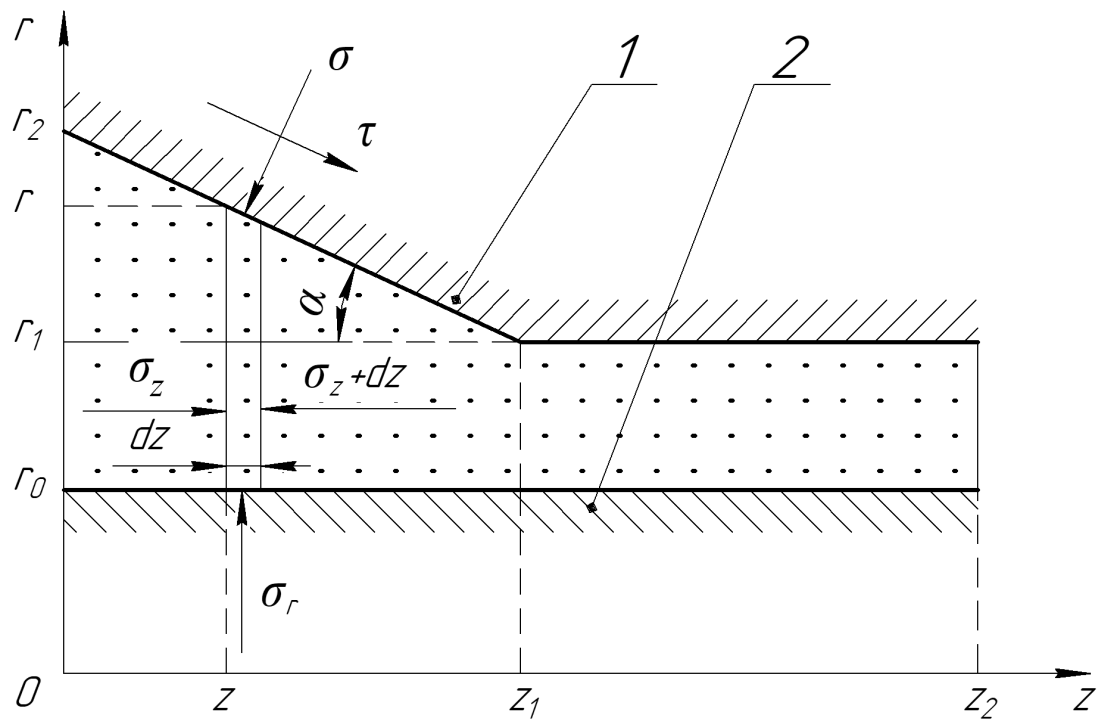


Рисунок 1 – Схема деформации материала в формующей головке экструдера

$$\sigma_r > \sigma_z . \quad (1)$$

Условие пластичности для всей зоны формования имеет вид

$$\sigma_r - \sigma_z = \sigma_s , \quad (2)$$

где σ_s – предел текучести материала при сжатии.

Уравнение равновесия сил, действующих на кольцевой элемент толщиной dz

$$\sigma_z(r^2 - r_0^2) - (\sigma_z + d\sigma_z)[(r - tg\alpha dz)^2 - r_0^2] + \\ + (\tau - \sigma tg\alpha)(2r - tg\alpha dz)dz = 0 , \quad (3)$$

или, после удаления бесконечно малых величин высших порядков

$$\left(r_0^2 - r^2\right)\frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + 2r\sigma_z tg\alpha - 2r(\sigma tg\alpha + \tau) = 0 . \quad (4)$$

Связь касательных и нормальных напряжений зададим линейным законом трения, поскольку в матрице находится уже спрессованный до компактного состояния материал:

$$\tau = f\sigma . \quad (5)$$

Подставляя закон трения (5) и условие пластичности (2) в (4) и учитывая, что $\sigma_r = (\cos\alpha - \tau\sin\alpha) / \cos\alpha = \sigma(1 - ftg\alpha)$, получим

$$\frac{r_0^2 - r^2}{2r}\frac{\partial\sigma_z}{\partial z} + (tg\alpha - k)\sigma_z - k\sigma_s = 0 , \quad (6)$$

где

$$k = \frac{f + tg\alpha}{1 - ftg\alpha} . \quad (7)$$

После разделения переменных и подстановки $r = r_2 - ztg\alpha$ получается уравнение

$$\frac{d\sigma_z}{(k-tg\alpha)\sigma_z+k\sigma_s}=\frac{2(r^2-ztg\alpha)}{r_0^2-(r^2-ztg\alpha)^2}dz\ , \quad (8)$$

интегрирование которого дает

$$-\ln\left|(k-tg\alpha)\sigma_z+k\sigma_s\right|=$$
$$=(1-kctg\alpha)\ln\left|(r_2-ztg\alpha)^2-r_0^2\right|+A\ . \quad (9)$$

Постоянная интегрирования A определяется из граничного условия

$$\sigma_z(z_1)=\sigma_1\ , \quad (10)$$

где σ_1 – осевое напряжение в выходном сечении конической части матрицы.

После упрощений получим следующую зависимость для распределения напряжений в конической части матрицы:

$$\sigma_z=(\sigma_1+m\sigma_s)\left(\frac{F}{F_1}\right)^n-m\sigma_s\ , \quad (11)$$

где F и F_1 – площади текущего и выходного сечений конуса, а m и n – коэффициенты, равные

$$m=\frac{1}{f}\frac{f+tg\alpha}{1+tg^2\alpha}\ , \quad (12)$$

$$n=kctg\alpha-1\ . \quad (13)$$

Распределение напряжений на цилиндрическом (калибрующем) участке матрицы можно определить из (6) при $\alpha=0$ и $r=r_1$:

$$\frac{r_1^2-r_0^2}{2r_1}\frac{d\sigma_z}{dz}+f\sigma=0\ . \quad (14)$$

Подстановка в (14) $\sigma_r=\sigma$ и условия пластичности (2) приводит к обыкновенному дифференциальному уравнению с разделяющимися переменными, решение которого при граничном условии $\sigma_z(z_2)=0$ дает следующую зависимость для распределения напряжений на цилиндрическом участке матрицы:

$$\sigma_z=\sigma_s\left(e^{p(z_2-z)}-1\right), \quad (15)$$

где

$$p=\frac{2fr_1}{r_1^2-r_0^2}\ . \quad (16)$$

При подстановке $z=z_1$ получим напряжение на выходе из конической части матрицы:

$$\sigma_1=\sigma_s\left(e^{p(z_2-z_1)}-1\right). \quad (17)$$

При конструировании матрицы необходимо задать ее геометрию таким образом, чтобы напряжение на входе в коническую часть матрицы оказалось равным значению критического давления p_0, при котором материал становится несжимаемым (беспористым). Данная величина принимается по результатам экспериментальных исследований. Тогда из (11) при соответствующих подстановках можно найти радиус r_2 основания конуса экструзионной матрицы:

$$r_2=\sqrt{\left(\frac{p_0+m\sigma_s}{\sigma_1+m\sigma_s}\right)^{1/n}\left(r_1^2-r_0^2\right)+r_0^2}\ . \quad (18)$$

Рассмотрим пример расчета матрицы для экструдирования изделия в виде трубы с наружным диаметром 40 мм и внутренним диаметром 30 мм из пластифицированного бронзового порошка.

Выявим геометрические данные, определяемые экструдируемым изделием: радиус дорна $r_0=15$ мм, радиус калибрующей части матрицы $r_1=20$ мм.

Назначим длину калибрующего участка матрицы $z_2-z_1=25$ мм, а угол конуса калибрующей части примем равным $\alpha=30^0$.

Согласно изложенной выше методике, для

выбранного материала необходимо измерить три величины, определяемые его свойствами: критическое давление p_0, при котором материал становится несжимаемым, а также соответствующие этому давлению предел текучести σ_s и коэффициент внешнего трения f. Методика и результаты измерений этих показателей приведены в [4, 5] и в данной работе не рассматриваются. Для бронзового порошка, пластифицированного парафином, принимаем $p_0 = 60$ МПа, $\sigma_s = 12$ МПа, $f = 0{,}13$.

По формулам (16), (7), (12), (13) определяем значения коэффициентов: $p = 0{,}03$ мм$^{-1}$, $k = 0{,}76, m = 4{,}08, n = 0{,}33$. Теперь по зависимостям (17) и (18) соответственно найдем давление на выходе из калибрующего участка σ_1 и радиус на входе в конический участок матрицы r_2:

$$\sigma_1 = 13{,}22 \text{ МПа}, \quad r_2 = 34{,}78 \text{ мм}. \qquad (19)$$

Результаты расчетов показали, что при проектировании экструдера для заданных условий можно принять входной диаметр конусной части матрицы равным 70 мм. Этому же значению будет равен наружный диаметр шнека.

На втором этапе проектирования необходимо определить оптимальные геометрические характеристики силового шнека экструдера. Схема процесса уплотнения материала в канале шнека показана на рисунке 2.

Материал перемещается по каналу 2 от бункера к матрице 1. Движущая сила возникает из-за трения среды о подвижную поверхность шнека и давления $p(z_0) = p_в$ на входе в канал. Ось z направлена против движения материала от выхода канала к его входу (от матрицы к бункеру). Начало отсчета совпадает с границей раздела между каналом и матрицей, давление в этой точке, равное $p(0) = p_0$, определяется только свойствами среды и геометрией матрицы.

Деформация находящегося в канале шнека материала сопровождается его уплотнением. Поэтому, в отличие от (5), связь между касательными и нормальными напряжениями будем определять нелинейным законом трения:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= a_1 + b_1 p + c_1 p^2; \\ \tau_0 &= a_0 + b_0 p + c_0 p^2, \end{aligned} \qquad (20)$$

где τ_1 и τ_0 – касательные напряжения на подвижной и неподвижной поверхностях; p – давление среды на стенки канала, являющееся функцией

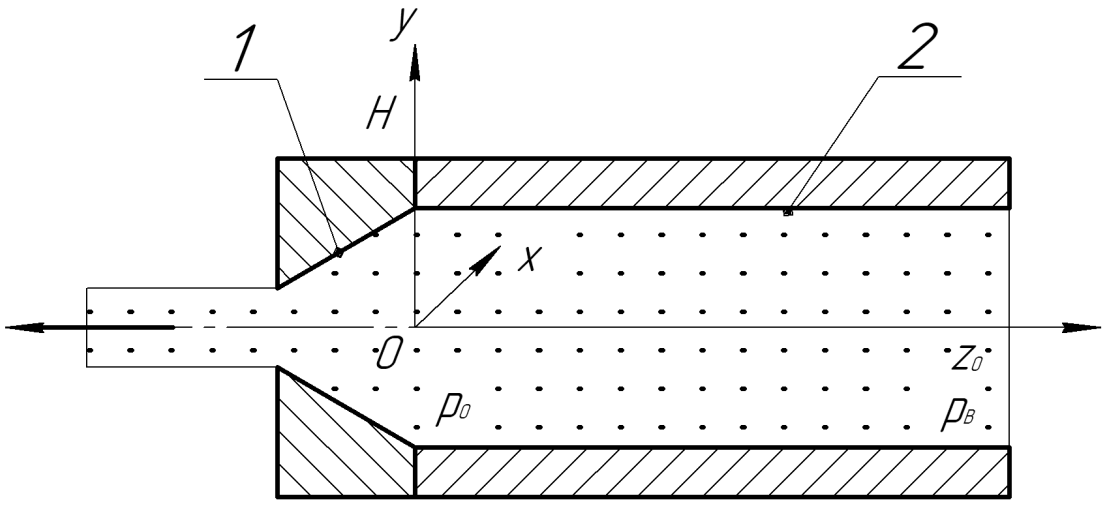


Рисунок 2 – Схема процесса уплотнения материала в канале шнека

координаты z; a_1, b_1, c_1 и a_0, b_0, c_0 — инвариантные к напряжениям коэффициенты, характеризующие трение материала о подвижные и неподвижные поверхности канала.

Приращение силы трения $dF_{тр}$ среды о стенки канала при увеличении координаты z на величину dz связано с приращением давления dp следующим образом:

$$dF_{тр} = -2Sdp = -2(\tau_1 l_1 - \tau_0 l_0)dz\,, \qquad (21)$$

где $2S$ – площадь поперечного сечения канала; $2l_1$ и $2l_0$ – части профиля, принадлежащие подвижной и неподвижной поверхностям соответственно.

Задача нахождения распределения давления вдоль канала сводится к решению обыкновенного дифференциального уравнения с разделяющимися переменными

$$dp = (a + bp + cp^2)dz\,, \qquad (22)$$

где коэффициенты a, b и c определяются трением и геометрией канала:

$$a = \frac{1}{S}(a_0 l_0 - a_1 l_1); \quad b = \frac{1}{S}(b_0 l_0 - b_1 l_1);$$
$$c = \frac{1}{S}(c_0 l_0 - c_1 l_1)\,. \qquad (23)$$

В частном случае, для канала прямоугольной формы

$$a = \frac{a_0 l_0 - 3a_1 l_0}{4l_0^2}; \quad b = \frac{b_0 l_0 - 3b_1 l_0}{4l_0^2};$$
$$c = \frac{c_0 l_0 - 3c_1 l_0}{4l_0^2}\,. \qquad (24)$$

Решение уравнения (22) имеет вид

$$z = d\ln\frac{p-e}{f-p} + A\,, \qquad (25)$$

где

$$d = \frac{1}{2c}\sqrt{\frac{b^2}{4c^2} - \frac{a}{c}}; \quad e = -\sqrt{\frac{b^2}{4c^2} - \frac{a}{c}} - \frac{b}{2c};$$
$$f = \sqrt{\frac{b^2}{4c^2} - \frac{a}{c}} - \frac{b}{2c}\,. \qquad (26)$$

Постоянная интегрирования A находится из граничного условия $p(0) = p_0$. Учитывая граничное условие $p(z_0) = p_в$, где $p_в$ – давление на выходе из канала, создаваемое только силой тяжести, получим выражение для длины канала шнека, необходимой для создания в матрице требуемого давления p_0:

$$z_0 = d\ln\frac{(p_0 - e)(f - \rho gH)}{(f - p_0)(\rho gH - e)}\,, \qquad (27)$$

где ρ – насыпная плотность материала; g – ускорение свободного падения; H — глубина канала.

Зная длину и выбрав угол подъема канала шнека γ, можно определить длину нарезки шнека по формуле

$$L = z_0 \sin\gamma \qquad (28)$$

и соответствующее ей число витков

$$n = \frac{z_0 \cos\gamma}{2\pi r_2}\,. \qquad (29)$$

Рассчитаем параметры шнека с каналом прямоугольного сечения для получения рассмотренного выше изделия. Радиус шнека r_2 определен при расчете матрицы (19), принимаем $r_2 = 35$ мм; из предыдущего расчета известно также значение давления на выходе из канала шнека, оно равно давлению на входе в коническую часть матрицы: $p_0 = 60$ МПа.

Назначим следующие конструктивные параметры шнека: глубина канала $H = 5$ мм, угол подъема витка шнека $\gamma = 22{,}5^0$, значения l_0 половина ширины канала) и l_1 (половина профиля канала) составят соответственно $2{,}5$ и $7{,}5$ мм.

Для выполнения расчета необходимо измерить триботехнические характеристики a_1, b_1, c_1 и a_0, b_0, c_0 из параболического закона трения (20), а также насыпную плотность материала ρ.

Методика измерения этих показателей в данной статье не рассматривается. По данным [4], для выбранного материала измеренные значения будут равны: $a_0 = 0{,}07$ МПа, $b_0 = 0{,}06$, $c_0 = -0{,}005$ МПа$^{-1}$; $a_1 = 0{,}02$ МПа, $b_1 = 0{,}2$, $c_1 = -0{,}006$ МПа$^{-1}$.

По формулам (24), (26) находим коэффициенты: $a = 0{,}001$, $b = 0{,}006$, $c = 0{,}0013$, $d = 821$, $e = -4{,}44$, $f = -0{,}173$.

Теперь по (27) можно определить длину канала шнека: $z_0 = 2607$ мм. В соответствии с (28) и (29), этому значению будет соответствовать длина нарезанной части шнека $L = 997$ мм ≈ 1 м при $n = 11$ витках.

В современной практике конструирования для выполнения расчётов и разработки конструкторской документации широко применяются трехмерные CAD-системы. Имеющийся базовый функционал таких систем позволяет автоматизировать множество операций, непосредственно связанных с геометрическим моделированием и получением на основе построенных моделей ассоциативных чертежей. С целью автоматизации расчетов и построений по приведенным выше методикам разработано прикладное приложение [6], интегрированное в систему автоматизированного проектирования Компас-3D. Разработанное приложение содержит базу данных измеренных триботехнических и реологических констант для ряда материалов, выполняет расчеты геометрии формующего инструмента и шнека, а также позволяет автоматизировать ряд операций, связанных с разработкой трехмерных моделей и подготовкой конструкторской документации при проектировании экструдера.

Таким образом, разработанные методики расчета позволяют проектировать шнековые машины для экструзии пластичных сред с оптимальными геометрическими параметрами экструзионных матриц и силовых шнеков, а реализация этих методик в виде прикладной САПР позволяет сократить время на подготовку трехмерных моделей и выпуск конструкторской документации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвеев, К. С., Пятов, В. В. (2010), Влияние процесса термомеханического рециклинга на структуру и свойства материалов, изготовленных из отходов пенополиуретана, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Витебск, 2010, № 18, с. 53.

2. Куксёнок, Т. С., Новиков, А. К. (2009), Особенности конструкции специализированного экструдера для переработки композиционных материалов, *Сборник статей XLII Научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов УО «ВГТУ»*, Витебск, 2009.

3. Ким, В. С. (2005), *Теория и практика экструзии полимеров*, Москва, 2005, 568 с.

4. Пятов, В. В. (2002), *Теоретические и технологические основы холодной экструзии порош-*

REFERENCES

1. Matveev, K., Pyatov, V. (2010), Vliyaniye protsessa termomekhanicheskogo retsiklinga na strukturu i svoystva materialov, izgotovlennykh iz otkhodov penopoliuretana [Influence of thermomechanical recycling on the structure and properties of materials made from waste polyurethane foam], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state tehnological University*, Vitebsk, 2010, No. 18, p. 53.

2. Kuksenok, T., Novikov, A. (2009), Osobennosti konstruktsii spetsializirovannogo ekstrudera dlya pererabotki kompozitsionnykh materialov [Features of the design of a specialized extruder for the processing of composite materials], *Collection of articles XLII Scientific and Technical Conference of teachers, staff, graduate students, undergraduates and students of the Vitebsk State Technological University*, Vitebsk, 2009.

ковых материалов, Витебск, 237 с.

5. Пятов, В. В. (2014), Триботехнические исследования пластичных сред, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2014, № 26, с. 85.

6. Пятов, В. В., Голубев, А. Н., Ашуров, Ш. Й. (2016), Прикладная САПР для расчета и проектирования деталей и узлов экструдера, *Материалы Международной научно-технической конференции «Переработка отходов текстильной и легкой промышленности: теория и практика», 30 ноября 2016 г.*, Витебск, 2016, с. 82-85.

3. Kim, V. (2005), *Teoriya i praktika ekstruzii polimerov* [Theory and Practice of Polymer Extrusion], Moscow, 2005, 568 p.

4. Pyatov, V. (2002), *Teoreticheskiye i tekhnologicheskiye osnovy kholodnoy ekstruzii poroshkovykh materialov* [Theoretical and technological basis of cold extrusion of powder materials], Vitebsk, 237 p.

5. Pyatov, V. (2014), Tribotekhnicheskiye issledovaniya plastichnykh sred [Tribotechnical studies of plastic media], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state tehnological University*, 2014, No. 26, p. 85.

6. Pyatov, V., Golubev, A., Ashurov, Sh. (2016), Prikladnaya SAPR dlya rascheta i proyektirovaniya detaley i uzlov ekstrudera [CAD application for calculation and design of extruder parts and components], *Materials of the International Scientific and Technical Conference «Recycling of Textile and Light Industry Waste: Theory and Practice», November 30, 2016*, Vitebsk, 2016, p. 82-85.

Статья поступила в редакцию 30. 10. 2017 г.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ, ФОРМУЕМЫХ ЭКСТРУЗИЕЙ

MEASUREMENT OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF MATERIALS FORMED BY EXTRUSION

УДК 621.762

В.В. Пятов*, А.Н. Голубев, П.С. Ширяев
Витебский государственный технологический университет

V. Pyatov*, A. Holubeu, P. Shyrayeu
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЭКСТРУЗИЯ, МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ, КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ, БОКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ, УПЛОТНЯЕМОСТЬ, СТРУКТУРНАЯ ПРОЧНОСТЬ, ПЛАСТОМЕР, ВИСКОЗИМЕТР

Предметом исследований являются методики измерения реологических и триботехнических свойств материалов, перерабатываемых методом экструзии.

Рассмотрены методики измерения коэффициентов внешнего и межчастичного трения, коэффициента бокового давления, уплотняемости, вязкости, давления истечения среды через цилиндрический капилляр, структурной прочности. Рассмотрено устройство и комплект оснастки для исследования технологических свойств формуемых сред, капиллярный вискозиметр для определения реологических свойств пластичных материалов, пластомер с коническим индентором для исследования структурной прочности материалов.

Разработанные методики, устройства и оснастка позволяют получать надежные экспериментальные данные, необходимые для расчета конструктивных параметров шнека и формующей головки, а также определения технологических режимов работы экструдера. Результаты работы могут быть использованы при проектировании специализированного оборудования для шнековой экструзии изделий из композиционных материалов.

ABSTRACT

EXTRUSION, MEASUREMENT TECHNIQUE, COEFFICIENT OF FRICTION, LATERAL PRESSURE, COMPACTION, STRUCTURAL STRENGTH, PLASTOMER, VISCOMETER

The subject of research is the methods for measuring the rheological and tribological properties of materials processed by extrusion.

Methods for measuring the coefficients of external and interparticle friction, the coefficient of lateral pressure, compaction, viscosity, the pressure of the flow of a medium through a cylindrical capillary, and structural strength are considered. The set of equipment for studying the technological properties of materials, a capillary viscometer for determining the rheological properties of plastic materials, a plastomer with a conical indentor for studying the structural strength of materials are considered.

Described methods, devices and equipment allow obtaining reliable experimental data necessary for calculating the shape and dimensions of the screw and forming head, and determining the modes of extruder operation. Given results can be used in the design of specialized equipment for screw extrusion of products made of composite materials.

* E-mail: *pyatov@tut.by* (V. Pyatov)

Шнековые экструдеры, позволяющие получать длинномерные изделия с сечением разнообразной формы, находят широкое применение во многих отраслях промышленности. В частности, хорошо известно применение экструдеров при переработке пластических масс, а также полимерных композиционных материалов и отходов из них. Шнековое оборудование находит применение в порошковой металлургии в процессах холодной экструзии пластифицированных порошковых материалов. В Республике Беларусь и за ее пределами существует устойчивый спрос на различные шнековые устройства, позволяющие производить переработку вязко-пластичных материалов [1]. Учитывая, что многочисленные материалы, способные к переработке экструзией, существенно отличаются друг от друга по свойствам, проектируемое экструзионное оборудование часто является узкоспециализированным. Основные конструктивные характеристики экструдера (главным образом геометрия шнека и формующей головки), а также режимы его работы определяются технологическими свойствами экструдируемого материала. В связи с этим особую важность приобретает задача создания надежных методик измерения технологических свойств материалов, что, в свою очередь, обеспечивает возможность разработки научно обоснованной технологии проектирования шнекового оборудования.

Основы теории экструзии сжимаемых сред и технология проектирования шнековых устройств разработаны довольно давно [2]. Однако для практического применения разработанной теории требуются надежные экспериментальные данные. В данной работе рассматриваются методики, устройства и оснастка для определения следующих технологических свойств обрабатываемых экструзией материалов: коэффициентов трения и бокового давления, уплотняемости, вязкости и давления истечения среды через цилиндрический капилляр.

Триботехнические характеристики формуемой среды (в частности, коэффициенты внешнего и внутреннего трения), а также уплотняемость и коэффициент бокового давления исследованы с помощью устройства, принципиальная схема которого приведена в [3]. Устройство представляет собой комплект технологической оснастки для прессования, смонтированный на винтовом прессе. Один из вариантов реализации схемы устройства приведен на рисунке 1. С помощью устройства можно измерять внутреннее и внешнее трение в материале.

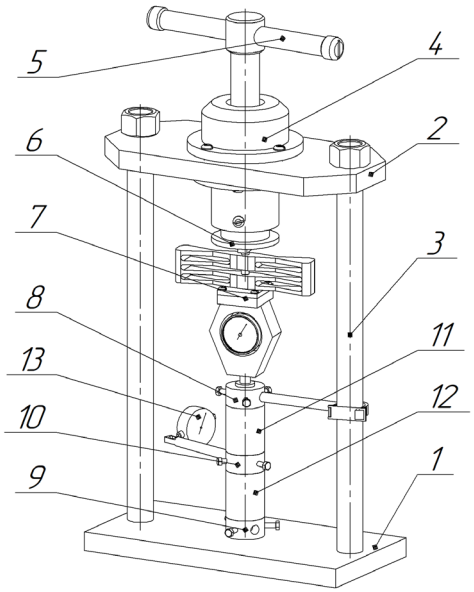


Рисунок 1 – Схема устройства для исследования технологических свойств среды

Винтовой пресс включает нижнюю 1 и верхнюю 2 плиты, жестко соединенные друг с другом двумя колоннами 3. На верхней плите 2 смонтирован подшипниковый узел 4. Вращение рукоятки 5 вызывает осевое перемещение ползуна пресса 6. Статическое усилие, создаваемое ползуном 6 при вращении рукоятки 5, фиксируется динамометром 7. Через динамометр усилие передается на комплект оснастки для прессования, установленный на нижней плите пресса 1.

Комплект оснастки предназначен для двух засыпок исследуемой среды и состоит из трех пуансонов 8, 9, 10 и двух матриц 11, 12. Верхний пуансон 8 зафиксирован от поворота, нижний пуансон 9 жестко закреплен на нижней плите пресса 1. Средний пуансон 10 имеет возможность поворачиваться посредством рычага. Усилие, прикладываемое к рычагу при повороте пуансона, может быть определено с помощью динамометра 13. Пуансоны выполнены в двух исполнениях (рисунок 2): с плоским и рифленым торцом.

При измерении коэффициента внешнего трения используют оснастку с пуансонами, имеющими гладкие торцы (рисунок 2 *а*). На неподвижный пуансон 9 (рисунок 1) устанавливают нижнюю матрицу 12, в полость матрицы засыпают формуемую среду. После установки пуансона 10 и матрицы 11 в последнюю засыпают вторую порцию формуемой среды, затем устанавливают и фиксируют верхний пуансон 8. Вращая рукоятку 5, от ползуна 6 через динамометр сжатия 7 на пуансон 8 прикладывают осевое усилие P_z. Данное усилие создает в материале нормальные напряжения

$$\sigma = \frac{P_z}{\pi r^2}, \qquad (1)$$

где r – радиус пуансонов.

Далее, к среднему пуансону 10 через динамометр растяжения 13 прикладывают усилие, достаточное для поворота пуансона. Это усилие создает вращающий момент

$$M = FL, \qquad (2)$$

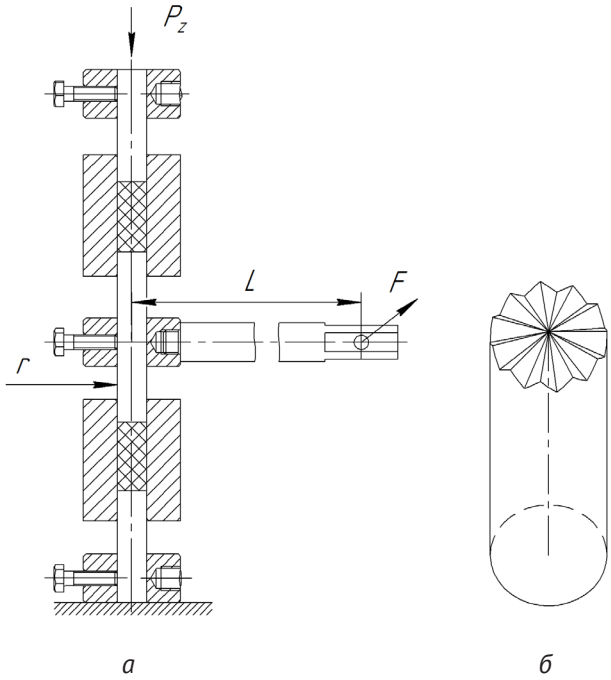


Рисунок 2 – Комплект оснастки для исследования триботехнических свойств: а – оснастка в собранном виде; б – вариант исполнения пуансона с рифленым торцом

где F – усилие, фиксируемое на динамометре 13 в момент поворота пуансона, L – расстояние от оси пуансона до точки приложения усилия F.

До начала поворота пуансона момент, определяемый по зависимости (2), полностью уравновешивается моментом, возникающим в результате трения материала о торцы пуансона, поэтому

$$FL = 4\pi\tau\int_0^r r^2 dr \ . \qquad (3)$$

Из этого соотношения можно определить касательные напряжения на поверхности трения:

$$\tau = \frac{3FL}{4\pi r^3} \ , \qquad (4)$$

тогда коэффициент внешнего трения

$$f = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{3FL}{4P_z r} \ . \qquad (5)$$

При установке оснастки с пуансонами, на торце которых выполнены треугольные рифления (рисунок 2 *б*) исключается возможность проворота исследуемой среды относительно пуансонов. Таким образом, применение оснастки с рифлеными пуансонами позволяет определять коэффициент внутреннего (межчастичного) трения в материале.

Данное устройство можно использовать для исследования уплотняемости формуемой среды. При одноосном нагружении получают ряд прессовок при различных значениях P_z, регистрируют массу и высоту прессовок, после чего строят кривую уплотнения, представляющую собой зависимость плотности прессовки от приложенного давления. После исследования одноосного напряженного состояния можно, прикладывая определенный вращающий момент к среднему пуансону 10 и создавая в среде касательные напряжения, получать кривые уплотнения для более сложных напряженных состояний.

Методика определения коэффициента бокового давления с помощью подобного устройства подробно рассмотрена в [4, 5].

Реологические свойства среды исследуют с помощью капиллярного вискозиметра, представляющего собой прессформу для мундштучного формования с комплектом сменных мундштуков (рисунок 3). Каждый мундштук имеет калиброванное цилиндрическое отверстие и коническую часть с заданным углом. При измерениях пластичный материал продавливают через мундштук, регистрируя различные параметры процесса (усилие выдавливания, скорость истечения материала и другие) [6]. Подобные устройства используют для проведения реологических исследований вязких жидкостей. С помощью специально разработанной методики на капиллярном вискозиметре можно измерять коэффициенты трения, а также предел текучести материала непосредственно в процессе экструзии.

Исследуемую формуемую смесь 3 помещают в матрицу 1 и с помощью пуансона 2 продавливают через мундштук 4 (рисунок 3). Эксперимент с одной и той же смесью последовательно проводят три раза, используя мундштуки, отличающиеся друг от друга разными углами наклона образующей конуса γ_1, γ_2 и γ_3, при этом углы выбирают следующим образом. Первые два измерения проводят с мундштуками, у которых угол γ меньше угла естественного течения γ_T исследуемой формуемой смеси. С достаточной для практического использования точностью можно считать $\gamma_T = 45^0$ и выбирать углы из соотношения $\gamma_1 < \gamma_2 < 45^0$. Угол наклона образующей третьего мундштука назначают бóльшим, чем угол естественного течения формуемой смеси, то есть принимают $\gamma_3 > 45^0$.

В ходе эксперимента регистрируют усилия P_1, P_2 и P_3, при которых начинается истечение среды через отверстие мундштука. Реологические характеристики определяют следующим образом.

Два первых измерения позволяют составить систему из двух уравнений:

$$\begin{cases} P_1 = \sigma_s S\left(\dfrac{f_б}{\sin\gamma_1} + \dfrac{2}{1+\cos\gamma_1}\right)\ln\dfrac{S}{s}, \\ P_2 = \sigma_s S\left(\dfrac{f_б}{\sin\gamma_2} + \dfrac{2}{1+\cos\gamma_2}\right)\ln\dfrac{S}{s}, \end{cases} \qquad (6)$$

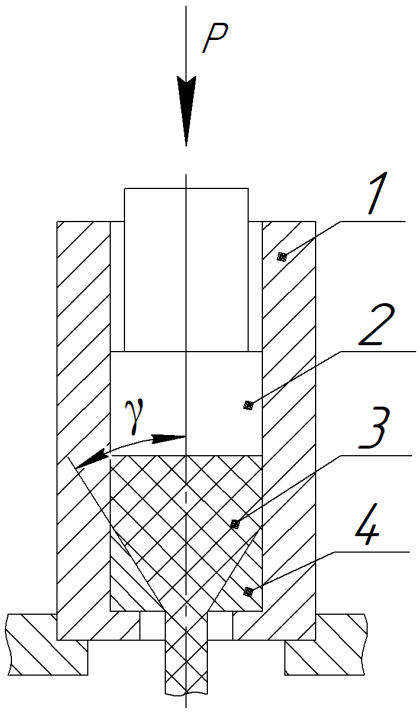


Рисунок 3 – Схема капиллярного вискозиметра для определения реологических свойств пластичных материалов

где σ_s – предел текучести формуемой среды на срез, $f_в$ – коэффициент внешнего трения (коэффициент трения формуемой среды о поверхность мундштука); S и s – площади поперечного сечения отверстия мундштука на его входе и выходе соответственно. Решением данной системы уравнений относительно σ_s и $f_в$ находят эти две характеристики формуемой среды.

Поскольку третье измерение проводят при $\gamma_3 > \gamma_T$, выдавливание сопровождается трением по поверхности, находящейся внутри формуемой среды. Поэтому

$$P_3 = \sigma_s S\left(\frac{f_M}{\sin\gamma_3} + \frac{2}{1+\cos\gamma_3}\right)\ln\frac{S}{s}, \quad (7)$$

где f_M – коэффициент межчастичного (внутреннего) трения. Поскольку значение σ_s уже известно из решения системы уравнений (6), коэффициент внутреннего трения может быть определен решением уравнения (7). Таким образом можно определить коэффициенты внешнего и внутреннего трения, действующие непосредственно в процессе экструзии, а также предел текучести формуемой среды на срез.

Методика исследования структурной прочности реализуется с помощью пластомера, схема которого представлена на рисунке 4. Конический индентор 1 внедряется под действием усилия F в образец 2, находящийся в цилиндрической матрице 3. Чтобы приблизить напряженное состояние в формуемой смеси к рабочему, образец сжимают усилием P с помощью пуансонов 4. Нагрузка может быть приложена как по оси образца, так и с эксцентриситетом. В последнем случае используют сферические элементы 5 и пластины 6 со скругленной боковой поверхностью. После извлечения индентора измеряют диаметр d отпечатка и вычисляют глубину погружения конуса:

$$h = \frac{d}{2} tg\frac{\varphi}{2}, \quad (8)$$

где φ – угол при вершине конуса индентора.

Структурную прочность формуемой смеси определяют по формуле

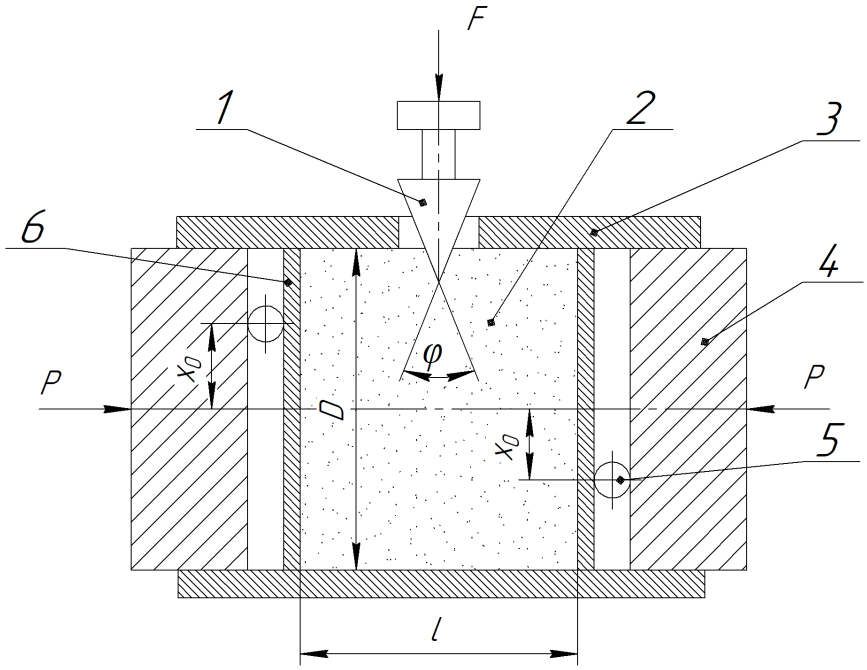


Рисунок 4 – Схема пластомера

$$\tau_m = \frac{\cos^2 \frac{\varphi}{2} F}{\pi tg \frac{\varphi}{2} h^2} \quad . \qquad (9)$$

Нормальные и касательные напряжения в месте внедрения конуса вычисляются следующим образом:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}, \ \tau = \frac{32}{3} \frac{x_0 P}{lD^2} \left[1 - \left(1 - \frac{2h}{D} \right)^2 \right], \qquad (10)$$

где D и l – диаметр и длина образца соответственно; x_0 – радиальное смещение сферических элементов 5 относительно оси матрицы.

Изменяя x_0 и P, варьируют напряженное состояние в месте измерения структурной прочности. Конструкция этого прибора признана изобретением [7].

Разработанные методики и устройства позволяют определить основные технологические характеристики формуемых сред, что необходимо для расчета конструктивных параметров оборудования для экструзии композиционных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бровко, С. В., Пятов, В. В. (2009), Технология и оборудование для переработки полимерсодержащих отходов, *Сборник статей XLII Научно-технической конференции преподавателей,*

REFERENCES

1. Brovko, S., Pyatov, V. (2009), Technology and equipment for processing polymer-containing waste [Tekhnologiya i oborudovaniye dlya pererabotki polimersoderzhashchikh otkhodov], *Collection of articles XLII Scientific and technical*

сотрудников, аспирантов, магистрантов и студентов УО «ВГТУ», Витебский государственный технологический университет, 2009.

2. Пятов, В. В. (2002), *Теоретические и технологические основы холодной экструзии порошковых материалов,* Витебск, 237 с.

3. Клименков, С. С., Пятов, В. В., Шульков, К. В. (1984), Устройство для исследования внешнего и межчастичного трения порошка, А. с. СССР 1176695, МКИ В 22 F 3/02.

4. Пятов, В. В., Ахтанин, О. Н., Клименков, С. С., Голубев, А. Н. (2003), Способ определения коэффициента бокового давления, Патент 5665 С1 BY, МПК G 01L 7/00, 2003, № 5.

5. Пятов, В. В. (2014), Трение на поверхности формующего инструмента, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Витебск, 2014, № 27, с. 94–96.

6. Степаненко, А. С., Клименков С. С., Пятов, В. В., Коваленко, А. Л., Красновский, А. Н. (1990), Способ определения технологических характеристик порошковых материалов в условиях пластической деформации, А.с. СССР 1553884, МКИ G 01 N 11/04, 1990, № 12.

7. Витязь, П. А., Клименков, С. С., Пятов, В. В., Шульков, В. В. (1986), Устройство для определения структурно-пластической прочности пластифицированных порошковых материалов, А.с. СССР 1274848, МКИ G 01 N 11/00, 1986, № 45.

conference of teachers, employees, post-graduate students, undergraduates and students of VSTU, Vitebsk State Technological University, 2009.

2. Pyatov, V. (2002), *Teoreticheskiye i tekhnologicheskiye osnovy kholodnoy ekstruzii poroshkovykh materialov* [Theoretical and technological basis of cold extrusion of powder materials], Vitebsk, 237 p.

3. Klimenkov, S., Pyatov, V., Shulkov, K. (1984), *Ustroystvo dlya issledovaniya vneshnego i mezhchastichnogo treniya poroshka* [A device for measuring the external and interparticle friction of a powder], Patent SU 1176695, IPC B 22 F 3/02.

4. Pyatov, V., Akhtanin, O., Klimenkov, S., Golubev, A. (2003), *Sposob opredelenija kojefficienta bokovogo davlenija* [Method for determining the lateral pressure coefficient], Patent 5665 C1 BY, IPC G 01 L 7/00, 2003, No. 5.

5. Pyatov, V. (2014), Treniye na poverkhnosti formuyushchego instrumenta [Friction on the surface of a forming tool], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state tehnological University*, Vitebsk, 2014, No. 27, pp. 94–96.

6. Stepanenko, A., Klimenkov, S., Pyatov, V., Kovalenko, A., Krasnovsky, A. (1990), *Sposob opredeleniya tekhnologicheskikh kharakteristik poroshkovykh materialov v usloviyakh plasticheskoy deformatsii* [Method for determination of technological characteristics of powder materials under conditions of plastic deformation], Patent SU 1553884, IPC G 01 N 11/04, 1990, No. 12.

7. Vityaz, P., Klimenkov, S., Pyatov, V., Shulkov, V. (1986), Ustroystvo dlya opredeleniya strukturno-plasticheskoy prochnosti plastifitsirovannykh poroshkovykh materialov [Device for determining the structural-plastic strength of plasticized powder materials], Patent SU 1274848, IPC G 01 N 11/00, 1986, No. 45.

Статья поступила в редакцию 17. 10. 2017 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИСКОЗНОЙ ПРЯЖИ БЕЗВЕРЕТЕННЫХ СПОСОБОВ ПРЯДЕНИЯ ТРИКОТАЖНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE VISCOUS KNITTING YARNS PRODUCED BY NON-CONVENTIONAL SPINNING SYSTEMS

УДК 677.075:677.017

Н.В. Скобова*
Витебский государственный технологический университет

N. Skobova*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ВИСКОЗНАЯ ПРЯЖА VORTEX, ПНЕВМОМЕХАНИЧЕСКАЯ ПРЯЖА, ОЦЕНКА СВОЙСТВ, USTER STATISTICS

На трикотажных предприятиях Республики Беларусь постоянно обновляется ассортимент выпускаемых изделий, идет поиск новых видов сырья, удовлетворяющих производителя по качеству и цене. Проведена работа по оценке возможности использования вискозной пряжи аэродинамического способа формирования (Vortex®) линейной плотности 20 текс в трикотажном производстве. Комплексный анализ свойств изучаемой пряжи показал ее соответствие мировым аналогам, показатель качества по Uster Statistics USP = 6–25 %. Пряжа характеризуется более высокими прочностными и эластичными свойствами по сравнению с пневмомеханической пряжей как близкому по структуре виду. Весомой разницы по ценовому фактору не наблюдается. По результатам проведенных исследований пряжу Vortex® можно рекомендовать трикотажным предприятиям для расширения ассортимента выпускаемой продукции.

ABSTRACT

VISCOSE AIR-JET YARN VORTEX, ROTOR SPINNING YARN, EVALUATION OF THE QUALITY, USTER STATISTICS

At the knitting enterprises of the Republic of Belarus, the assortment of manufactured products is constantly updated, new types of raw materials are being searched that satisfy the producer in terms of quality and price. The work was done to verify the possibility of using of a viscose air-jet yarn (Vortex®) of a linear density of 20 tex in knitting production. The complex analysis of the properties of the yarn showed its compliance with the world analogs, the quality index according to Uster Statistics USP is 6–25 %. The yarn is characterized by higher strength and elastic properties compared to the rotor spinning yarn, which is a closely related kind. Significant difference in the price factor is not observed. According to the results of the research, Vortex® yarn can be recommended for knitting enterprises to expand the range of products.

Под торговой маркой «Світанак» выпускают трикотажную одежду, завоевавшую большую популярность в Беларуси и за рубежом благодаря качеству материала, современному дизайну и невысокой цене. Ассортимент предприятия широк: белье, легкий верхний трикотаж для отдыха, дома, занятий спортом. Основным видом сырья, используемым для изготовления полотен, является хлопчатобумажная, хлопкополиэфирная и вискозная пряжа. Для придания изделиям дополнительных свойств используют текстурированную полиэфирную нить и эластомерную нить (спандекс).

Залогом высоких потребительских свойств выпускаемых изделий является качество используемого сырья. На ОАО «Світанак» постоянно расширяется сеть поставщиков, идет поиск новых видов пряжи для совершенствования

* E-mail: *skobova-nv@mail.ru* (N. Skobova)

производимого ассортимента. Широкий спектр изделий выпускается из пряжи кольцевого и пневмомеханического способов прядения. Новинкой для белорусских производителей явилась вискозная пряжа Vortex®, закупленная у фирмы «PT. Elegant Tekstil Indastry» (Индонезия). Данный вид пряжи разработан фирмой Murata, получают ее вихревым способом прядения, сущность которого заключается в том, что из вытянутой в вытяжном приборе ленты формируется пряжа внутри аэродинамического устройства (рисунок 1). Под действием воздушного вихря длинные волокна формируют сердечник, а короткие волокна за счет движения воздуха навиваются на стержневой компонент и обкручивают его под определенным углом, формируя обвивочный слой [1].

В работах зарубежных исследователей прослеживается интерес к данному ассортименту: сравниваются физические свойства хлопкополиэфирной пряжи Vortex® с разным процентным вложением химического волокна и аналогичной пряжи аэродинамического способа формирования [2], изучается влияние вихревого (Vortex®) и пневмомеханического способов формирования хлопчатобумажной пряжи на интенсивность ее окрашивания [3].

Статья посвящена оценке возможности применения вискозной пряжи Vortex® линейной плотности 20 текс в трикотажном производстве. Для детального анализа проводилось сопоставление свойств вискозной пряжи Vortex® с часто используемым на трикотажном предприятии ассортиментом вискозной пряжи безверетенного прядения – пневмомеханической, линейной плотности 20 текс ф. «PT. Embe Plumbon Tekstil» (Индонезия).

На начальном этапе проведены исследования внешнего вида и структуры образцов пряжи. На рисунке 2 представлены фотографии вискозной пряжи безверетенных способов прядения: внешний вид пряжи обоих вариантов мало отличим, в структуре явно выражен сердечник, вокруг которого обкручены волокна наружного слоя. Однако пряжа Vortex® имеет большую объемность за счет неплотного расположения волокон.

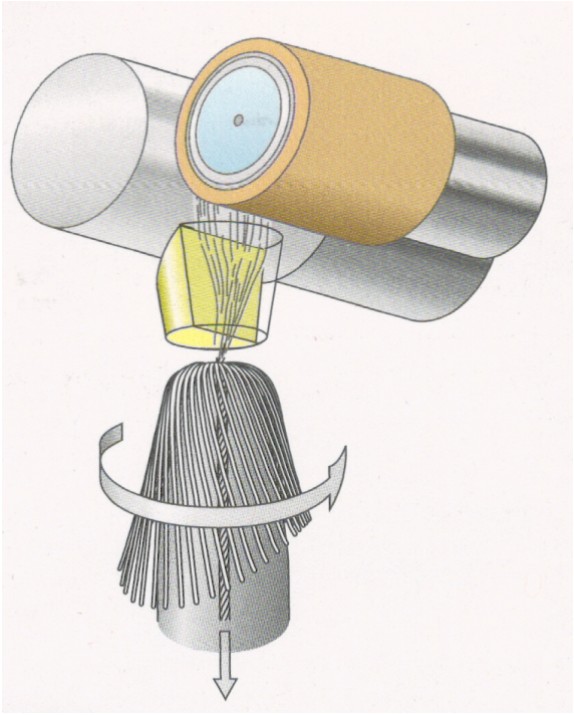
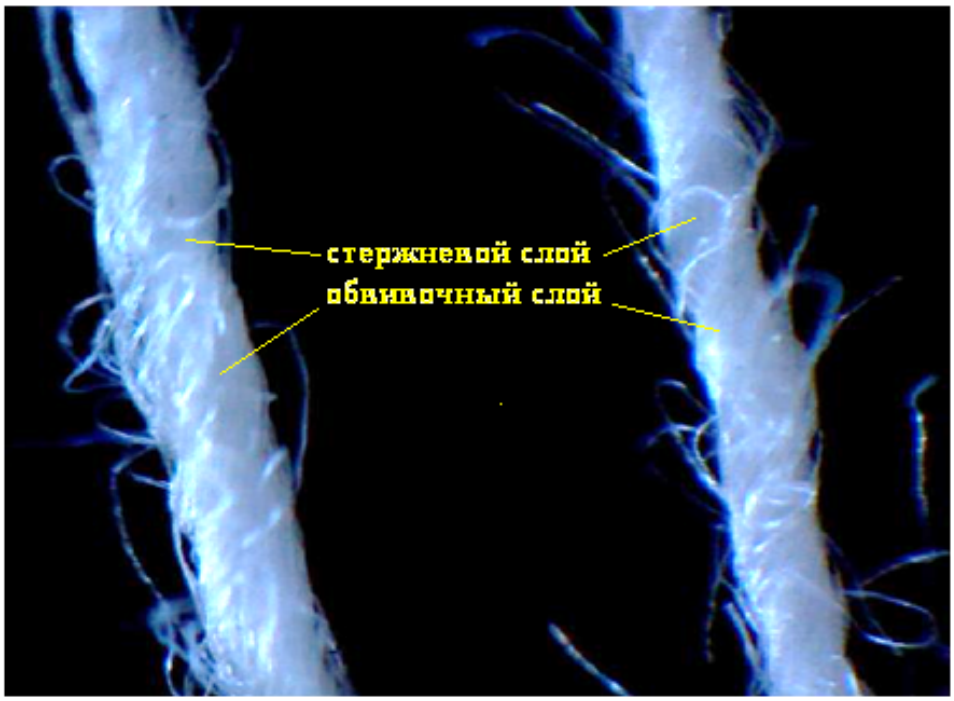


Рисунок 1 – Схематическое изображение процесса формирования пряжи Vortex®



а *б*

Рисунок 2 – Структура вискозной пряжи линейной плотности 20 текс вихревого (а) и пневмомеханического (б) способов формирования

Результаты измерения геометрических параметров пряжи анализируемых образцов (усредненное значение на разных участках) показывают (таблица 1):

– диаметр пряжи вихревого способа формирования больше на 35%;

– угол наклона волокон наружного слоя к оси продукта у обоих вариантов мало отличим;

– у двух образцов витки наружного слоя имеют правое направление крутки.

В сопроводительной документации пряжа Vortex® заявлена как бескруточная, однако при ее раскручивании на круткометре крутка составила 270 кр/м. Вероятной причиной такого явления является особенность процесса формирования пряжи: раскручиванию подверглись только волокна обвивочного слоя.

Таким образом, внешний вид и структура анализируемых образцов имеют схожие характеристики.

Следующим этапом исследования являлась оценка качественных показателей вискозной пряжи линейной плотности 20 текс вихревого и пневмомеханического способов формирования:

Таблица 1 – Геометрические параметры пряжи безверетенного способа прядения

Характеристика	**Значение**	
	пряжа Vortex®	**пряжа пневмомеханического способа формирования**
Диаметр, мм	0,23	0,17
Угол наклона волокон наружного слоя к оси продукта, град	22,8	25,3

неровноты по линейной плотности на разных длинах отрезков (***CVm***), количество утолщений (***Thick***) и утонений (***Thin***), непсов (***Neps***), ворсистости (***H***) пряжи. Для получения указанных характеристик использовался лабораторный комплекс Uster Statistics 5. На предприятии отсутствует нормативная база на новый вид продукции – пряжу Vortex®, поэтому для оценки качества анализируемых вариантов проведем сравнительный анализ с данными из базы Uster Statistics 2017 на аналогичный вид продукции (рисунок 3, 4) [4]. В столбце Value отражены фактические результаты измерений, в столбце USP™ – уровень качества, которому соответствует опытный вариант пряжи. Пряжа вихревого способа формирования по большинству показателей соответствует высокому качеству (USP™ = 6–25 %), пневмомеханическая пряжа также отличается высоким качеством (USP™ = 5 % и менее) за исключением среднего квадратического отклонения по ворсистости, который для предприятия ОАО «Світанак» не является весомым, так как не входит в номенклатуру основных показателей.

Сравнительный анализ фактических значений анализируемых качественных показателей двух вариантов пряжи показывает, что наилучшими характеристиками обладает пряжа Vortex®: меньше неровнота на разных длинах отрезков в среднем на 5 %, значительно ниже количество часто возникающих дефектов (утолщений, утонений и непсов). Это подтверждает диаграмма массы пряжи (рисунок 4).

На рисунке 5 представлены амплитудные спектры неровноты двух образцов вискозной пряжи, которые представляют собой изменения массы продукта по частоте. На спектрограмме в пряже пневмомеханического способа прядения

а *б*

Рисунок 3– Результаты оценки качества вискозной пряжи в системе Uster Statistics 2017: а - Vortex®; б – пневмомеханического прядения

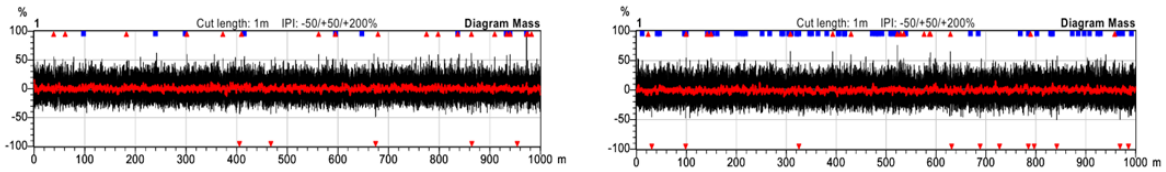
(рисунок 6 *б*) обнаружен периодический дефект на длине волны 8–9 см, вероятной причиной появления которого является биение оттяжного валика на прядильной машине, однако интенсивность дефекта невелика, поэтому в изделии он будет малозаметным. Впадина на спектрограммах на длине волны 3,8 см указывает на одинаковую длину резки вискозного волокна.

На лабораторном оборудовании кафедры технологии текстильных материалов УО «ВГТУ» проведены исследования физико-механических свойств пряжи: относительной разрывной нагрузки, разрывного удлинения, коэффициента вариации по разрывной нагрузке, стойкости к истиранию нити о нить, коэффициента вариации стойкости к истиранию.

Физико-механические свойства кардной пряжи пневмомеханического способа формирования должны соответствовать ТУ РБ 00311645.116 – 2000. Нормативной базы для пряжи Vortex® на предприятии на сегодняшний момент не разработано, поэтому, учитывая схожую структуру пряжи двух вариантов, для оценки качества данного ассортимента будем ориентироваться на технические условия для пневмомеханической пряжи [5]. Для сравнительного анализа свойств пряжи с мировыми аналогами в качестве базового варианта используем пряжу вихревого и пневмомеханического способов формирования с показателями по Uster Statistics USP™ = 5 % и менее. Результаты исследований представлены на рисунке 6.

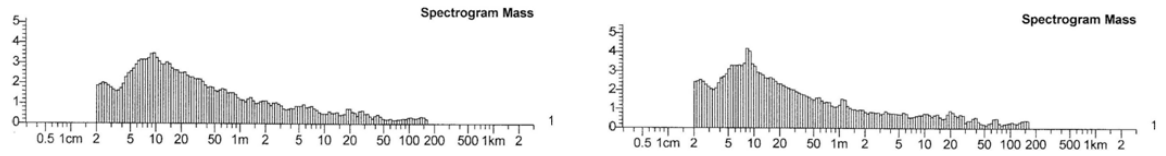
Из диаграмм видно, что оба варианта пряжи удовлетворяют требованиям нормированных показателей по свойствам: относительная разрывная нагрузка (не менее 9,9 сН/текс) (рисунок 6 *а*), коэффициент вариации по разрывной нагрузке (не более 12 %) (рисунок 6 *б*). Причем по всем показателям пряжа вихревого способа формирования превосходит пневмомеханическую пряжу, но несколько уступает базовым вариантам Uster Statistics.

Для пряжи трикотажного назначения показатель разрывного удлинения важен, так как при небольшом удлинении затруднен процесс петлеобразования. Анализируемые варианты



а *б*

Рисунок 4 – Диаграмма изменений массы пряжи вихревого (а) и пневмомеханического (б) способов формирования



а *б*

Рисунок 5 – Спектрограмма масс пряжи вихревого (а) и пневмомеханического (б) способов формирования

пряжи имеют близкие значения (рисунок 6 *в*), не превышающие показатели базовых вариантов.

Изучаемая пряжа предназначена для выработки верхнего трикотажа женского ассортимента, соответственно одним из показателей качества, на который следует проверить образцы – это стойкость к истиранию нити о нить. Из диаграммы (рисунок 6 *г*) видно, что наибольшей стойкостью к истиранию нити о нить (в среднем 38 циклов) обладает образец пряжи вихревого (Vortex®) способа формирования. Однако при проведении испытаний наблюдался большой разброс в получаемых результатах, были участки пряжи, выдерживающие 10 циклов, а некоторые – до 70 циклов. Пряжа пневмомеханического способа формирования отличалась более узким разбросом значений. Это подтверждается значением коэффициента вариации по показателю стойкости к истиранию (рисунок 6 *г*). Такое поведение связано со структурой пряжи Vortex®: при анализе поверхности наблюдались открытые участки со стержневым компонентом, непокрытые обкручивающим слоем – при их перетирании будет отмечаться невысокое число циклов.

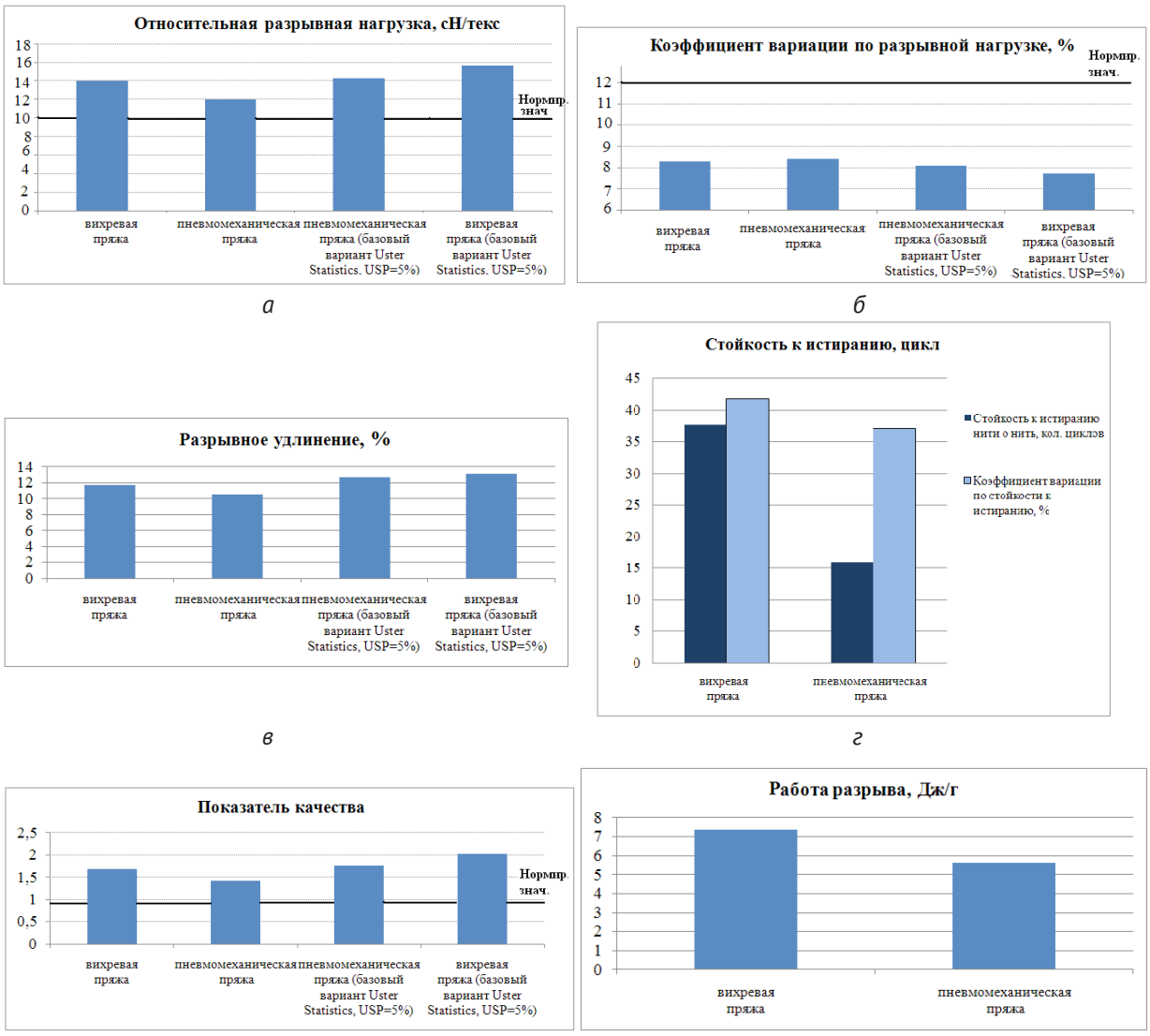


Рисунок 6 – Физико-механические свойства вискозной пряжи безверетенного способа прядения

Комплексными показателями качества вискозной пряжи, характеризующими их механические свойства с учетом параметров структуры, являются показатель качества (отношение относительной разрывной нагрузки к коэффициенту вариации по разрывной нагрузке, согласно ТУ не менее 0,8) и элементарная работа разрыва Wp (рисунок 6 *д*, *е*). Проведенный расчет этих показателей показал преимущество пряжи вихревого способа прядения.

Технологический процесс вязания трикотажных полотен из пряжи Vortex® проходил стабильно, обрывности нитей не наблюдалось, при переработке пряжи пневмомеханического способа формирования отмечены 2 обрыва пряжи.

Исходя из результатов исследований физико-механических свойств пряжи безверетенного способа прядения очевидны преимущества пряжи вихревого способа формирования.

При выборе сырья производитель трикотажных изделий будет руководствоваться не только качеством приобретаемой пряжи, но и ценовым фактором. Стоимость 1 кг пряжи Vortex® выше на 4 % по отношению к пневмомеханической пряже, что не представляет для потребителя существенной разницы при более высоком качестве товара.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что вискозная пряжа Vortex® вихревого способа формирования по внешнему виду и структуре близка к пряже пневмомеханического способа формирования. По физико-механическим и качественным характеристикам по Uster Statistics 2017 пряжа Vortex® соответствует мировым аналогам (показатель качества USP™ = 6–25 %).

Новый вид сырья – вискозная пряжа вихревого способа формирования – может быть рекомендована для широкого применения трикотажными предприятиями, так как по своим характеристикам и цене (дороже на 4 %) не уступает пряже пневмомеханического способа формирования, а по некоторым показателям превышает ее.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Прядильная машина Vortex 861 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://xn--80aajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/0813173.pdf. – Дата доступа: 22.05.2017.
2. G. Basal, W. Oxenham (2003), Vortex spun yarn VS. Air-jet spun yarn: AUTEX Research Journal, Vol. 3, No3.
3. Halil Özdemir, R. Tuğrul Oğulata (2010), Comparison of the Properties of a Cotton Package Made of Vortex (MVS) and Open-End Rotor Yarns: FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011, Vol. 19, No. 1 (84), p. 37–41.
4. Рыклин, Д. Б., Медвецкий, С. С. (2017), *Оценка качества текстильных нитей и полуфабри-*

REFERENCES

1. Spinning machine Vortex 861 [Prjadil'naja mashina Vortex 861], [Elektronnyi resurs]. – Rezhim dostupa: http://xn--80aajzhcnfck0a.xn--p1ai/PublicDocuments/0813173.pdf. – Data dostupa : 22.05.2017.
2. G. Basal, W. Oxenham (2003), Vortex spun yarn VS. Air-jet spun yarn: AUTEX Research Journal, Vol. 3, No3.
3. Halil Özdemir, R. Tuğrul Oğulata (2010), Comparison of the Properties of a Cotton Package Made of Vortex (MVS) and Open-End Rotor Yarns: FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2011, Vol. 19, No. 1 (84), p. 37–41.
4. Ryklin, D. B., Medveckij, S. S. (2017), *Ocenka kachestva tekstil'nyh nitej i polufabrikatov s*

катов с использованием приборов Uster Tester, Витебск, УО «ВГТУ», 2017, 168 с.

5. Коган, А. Г., Скобова, Н. В. (2009), *Технология и оборудование для производства ровницы и пряжи*, Витебск, УО «ВГТУ», 2009, 240 с.

ispol'zovaniem priborov Uster Tester [Evaluation of the quality of textile yarn and semi-finished products using Uster Tester devices], Vitebsk, EI «VSTU», 2017, 168 p.

5. Kogan, A. G., Skobova, N. V. (2009), *Tehnologija i oborudovanie dlja proizvodstva rovnicy i prjazhi* [Technology and equipment for the production of roving and yarn], Vitebsk, EI «VSTU», 2009, 240 p.

Статья поступила в редакцию 02. 10. 2017 г.

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ ОТХОДОВ

CALCULATION OF BASIC PARAMETERS OF DEVICE FOR PLASTIC WASTE PROCESSING

УДК 621.926

О.Н. Сынюк[1]*, Т.И. Кулик[2]
[1] Хмельницкий национальный университет
[2] Киевский национальный университет технологий и дизайна

O. Synyuk[1]*, T. Kulik
[1] Khmelnytskyi National University
[2] Kyiv National University of Technologies and Design

РЕФЕРАТ

ПОЛИМЕРНЫЕ ОТХОДЫ, ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ, МЕХАНИЧЕСКОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ, ВАЛКОВЫЕ УСТРОЙСТВА, КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

В статье рассматривается проблема переработки полимерных отходов на валковых устройствах с возможностью дальнейшего их использования в качестве армирующих элементов композитных материалов. Целью исследования является разработка рациональной конструкции устройства для обеспечения качественного расщепления аморфно-кристаллических полимеров с минимальными энергетическими затратами. Разработана математическая модель процесса деформации полимерного материала между зубчатыми валками устройства, получены аналитические зависимости величины относительной деформации сжатия материала в зависимости от конструктивных параметров зубчатых валков. В результате проведенных исследований предложены оптимальные значения диаметра зубчатых валков, высоты зубьев и угла профиля зубьев для переработки наиболее распространенных полимерных материалов – полиэтилена, полиэтилентерефталата, полипропилена. Разработанные рекомендации могут быть использованы для изготовления энергоэффективного перерабатывающего оборудования.

ABSTRACT

POLYMER WASTE, WASTE PROCESSING, MECHANICAL SPLITTING, ROLLER DEVICES, CONSTRUCTIVE PARAMETERS, ENERGY EFFICIENCY

The article considers the problem of processing polymeric waste on roller machines with the possibility of further use as reinforcing elements of composite materials. The aim of the study is to develop a rational design of the device to ensure the qualitative splitting of amorphous-crystalline polymers with minimal energy costs. A mathematical model of the deformation process of polymeric material between the gear rolls is developed, and analytical dependences of the value of the relative deformation of the material compression are obtained depending on the design parameters of the gear rolls. As a result of the research, the optimal values of the diameter of the toothed rolls, the tooth heights and the profile angle of the teeth for the processing of the most common polymeric materials (polyethylene, polyethylene terephthalate, polypropylene) are proposed. The developed recommendations can be used for manufacturing energy-efficient processing equipment.

В современном мире непрерывно увеличивается потребление пластмасс, в связи с чем особое значение приобретает проблема их утилизации. Полимерные отходы считаются наиболее экологически опасными, поскольку полимеры мало подвержены саморазложению. В нашей стране

* E-mail: *synoleg@ukr.net* (O. Synyuk)

утилизации полимеров уделяется недостаточное внимание – чаще всего такие отходы хранятся на полигонах и свалках или сжигаются в печах с остальным твердым мусором, что в обоих случаях наносит существенный урон окружающей среде. Почва и вода, контактирующие с пластиком, насыщаются вредными химическими веществами (формальдегидом, фенолом, стиролом, уретаном и т. д.). Сжигание полимерных отходов вызывает выделение ядовитых газов, в том числе диоксина. Кроме того, важно учитывать, что подавляющее большинство пластиков производится из невозобновляемого углеводородного сырья, запасы которого ограничены. Поэтому, в условиях дефицита полимерного сырья, повторное использование материала имеет не только экологическое, но и экономическое значение – рециклинг полимеров позволяет существенно сэкономить первичное сырье и электроэнергию на производство [1–2]. Таким образом, использование вторичных ресурсов с максимальной эффективностью является крайне актуальным заданием, от решения которого зависит благополучие и безопасность как окружающей среды, так и всего человечества.

Значительная часть полимерных отходов может быть переработана для вторичного использования. Для этого необходимо выбрать рациональный способ переработки и эффективное оборудование для его реализации. Термические и химические методы утилизации полимеров, такие как пиролиз, крекинг, каталитический термолиз, деполимеризация являются эффективными, но весьма дорогостоящими технологиями, часто наносящими урон окружающей среде. Их применение оправдано в случае, когда отходы не находят практического использования и не могут быть переработаны в изделия либо введены в состав различных композиций. Поэтому наиболее распространенным и рациональным способом переработки полимерных отходов на сегодня остается механическая обработка. При таком способе отходы измельчают, очищают и подвергают агломерации или грануляции, после чего возвращают в производственный цикл. Таким образом, можно перерабатывать как отходы потребления, так и производственные отходы с дальнейшим использованием их в дорожном строительстве, в производстве строительных материалов, мебельной фурнитуры, емкостей и пленок для упаковки и т. д.

Существует большое количество машин для переработки полимерных отходов, позволяющее получить материал заданных параметров. К перерабатывающему оборудованию выдвигается ряд требований, среди которых основными являются: качество переработки, степень дисперсности исходного материала, энергозатраты на переработку единицы объема материала, производительность оборудования. В оборудовании для механического измельчения используются различные физические эффекты – раздавливание, истирание, расщепление, удар, резка, раскалывание, ультразвуковые, температурные, кавитационные [3].

Данная работа посвящена проектированию валковых устройств. Целью исследования является разработка рациональных конструктивных параметров устройства для обеспечения качественного дробления полимерных отходов с минимальными затратами энергии.

Принцип работы валковых дробилок состоит в том, что под действием сил трения материала происходит раздавливание его между цилиндрическими валками, вращающимися с одинаковой скоростью навстречу друг к другу с последующим отсеиванием измельченного вещества. Устройства такого типа имеют ряд преимуществ: однородность формы фракции на выходе, простую механическую конструкцию, экономичность и эффективность использования, высокую надежность и безопасность.

При расчете основных параметров непрерывного процесса переработки полимерных отходов в зубчатых валках могут встречаться два типа задач:

– при заданных геометрических размерах валков (радиус и длина рабочей части) и скоростях вращения необходимо определить производительность;

– при заданной производительности необходимо определить основные геометрические размеры зубчатых валков и оптимальную скорость их вращения.

В данной работе решается вторая задача.

В процессе воздействия на полимерный материал зубчатых валков последний подвергается таким деформациям: растяжения, сжатия и изги-

бы [4]. Внутренний слой полимерного материала на вершине зубцов будет вытягиваться под действием растягивающих напряжений и сжиматься под действием напряжений изгиба (рисунок 1).

Таким образом, деформация растяжения внутреннего слоя будет компенсироваться деформацией его сжатия, а деформация наружного слоя полимерного материала увеличится за счет растяжения, имеющего место при изгибе. В результате того, что вершины и впадины зубцов имеют различные радиусы вращения, возникает тангенциальное напряжение, вызываемое силами трения.

Следовательно, при переработке полимерного материала в зубчатых валках мощность будет расходоваться на деформацию растяжения материала, деформацию сжатия и на преодоление сил трения.

С учетом вышесказанного суммарный крутящий момент представим в следующем виде:

$$T = T_{раст} + T_{сж} + T_m, \quad (1)$$

где $T_{раст}$ – момент сил, вызывающих растяжение полимерного материала; $T_{сж}$ – момент сил, вызывающих сжимание полимерного материала; T_m – момент сил трения.

В процессе прохождения между зубчатыми валками полимерный материал подвергается деформациям растяжения и сжатия по всей толщине. Расчетная схема переработки полимера представлена на рисунке 2.

Полимерный материал с исходной толщиной h_1 входит в зону действия зубчатых валков, имея на выходе из неё толщину h_2 (рисунок 2). Для расчета разрабатываемого устройства следует предварительно определить деформацию полимерного материала, необходимую для получения ориентированной структуры. Процесс перехода аморфно-кристаллических полимеров из неориентированного состояния в высокоориентированное является одной из стадий расслоения полимерных отходов на элементы, которые можно использовать в качестве армирующих элементов композитных материалов [5, 6].

Примем следующие допущения:

– релаксация деформации отсутствует;

– область влияния на полимер – только в плоскости осей зубчатых валков.

Согласно [1] деформация полимерного материала в зубчатых валках происходит в два этапа: растяжение полимерного материала между двумя зубчатыми валками и изгиб полимерного материала на вершинах зубцов.

Таким образом, согласно рисунку 2, относительное растяжение можно определить из уравнения:

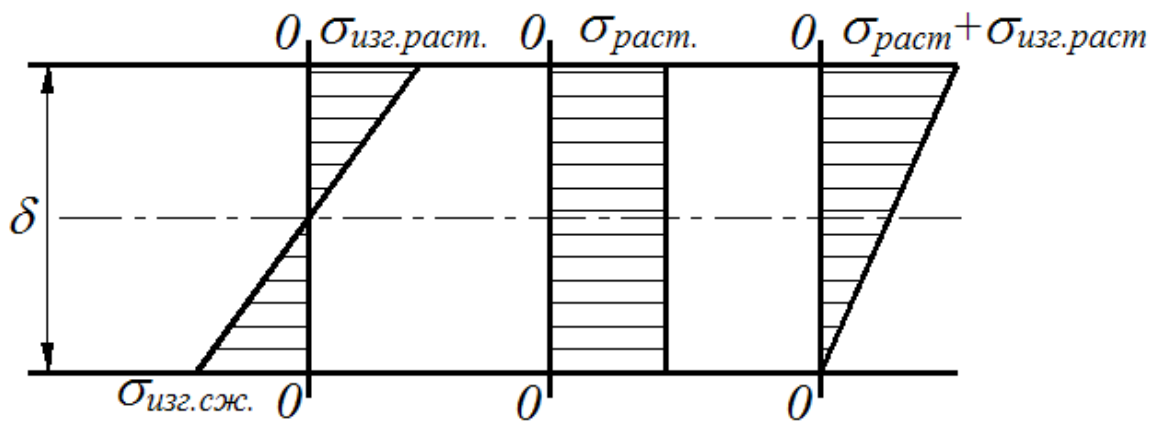


Рисунок 1 – Эпюра внутренних напряжений, возникающих в полимерном материале

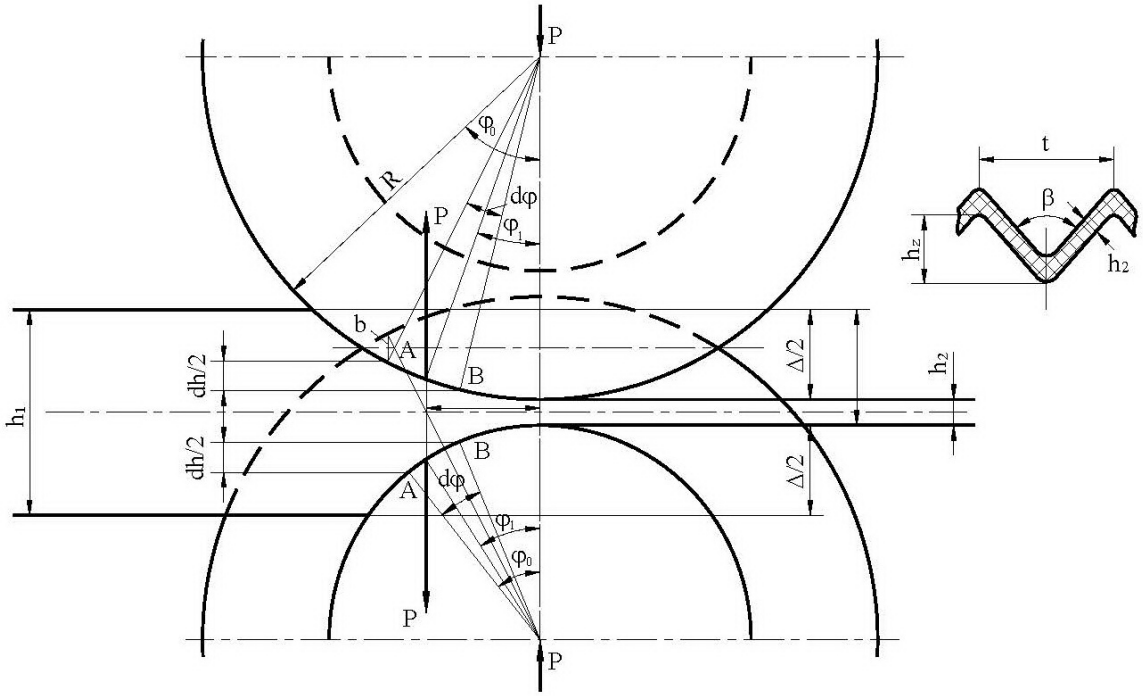


Рисунок 2 – Расчетная схема деформирования полимерного материала в зубчатых валках

$$\varepsilon_p = \frac{1 - \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\beta}{2}\right)} . \qquad (2)$$

Деформация растяжения, определённая с помощью (2), обеспечивает ориентированную структуру полимерного материала.

С другой стороны, деформация растяжения может быть определена согласно [4] следующим образом:

$$\varepsilon_p = \frac{1}{E_c}\left(\sigma_p - 2\nu_c\sigma_{сж}\right)\sigma_p + \frac{1}{E_м}\sigma_p . \qquad (3)$$

Подставив (3) в (2) и решив полученное выражение относительно β, получим

$$\beta = 2\arcsin\left(\frac{1}{\frac{1}{E_c}\left(\sigma_p - 2\nu_c\sigma_{ст}\right)\sigma_p + \frac{1}{E_м}\sigma_p + 1}\right) . \qquad (4)$$

Из уравнения (4) можно определить угол профиля зубцов валкового устройства для переработки полимерных отходов, при котором обеспечивается ориентированная структура полимерного материала, проходящего между валками.

Полимерный материал между двумя зубцами принимает вид равнобедренного треугольника (рисунок 2). Высота этого треугольника равна h_z, основа – t. Из рисунка 3 видно, что растяжение полимерного материала начинается на участке $\varphi_0...\varphi_1$ и заканчивается на участке $\varphi_0...0$. Затем полимерный материал сжимается между боковыми поверхностями зубьев (участок $\varphi_1...0$), а на участке $\varphi_0...\varphi_1$ растягивается, что приводит к уменьшению толщины от начальной h_1 до $h_1(1 - \nu\varepsilon_p)$.

Коэффициент Пуассона ν полимерного материала определяем согласно [3]

$$\nu = \frac{3E_V - E}{6E_V} , \qquad (5)$$

где E_v – модуль объемной упругости, который может быть представлен выражением [3]

$$E_V = E_м \frac{E_c(1+\nu_м) + 2\chi^2 E_c(1-2\nu_м) + 2E_м(1-\chi^2)(1-2\nu_c)}{3\left[E_c(1-\chi^2)(1-2\nu_м)(1+\nu_м) + \chi^2 E_м(1+\nu_м)(1-2\nu_c) + 2E_м(1-2\nu_м)(1-2\nu_c)\right]}, \quad (6)$$

где χ – степень кристалличности (определяется типом кубической решетки упаковки сферолитов в материале [2]); E_c, ν_c – модуль упругости и коэффициент Пуассона сферолита (выбираются из справочной литературы); $E_м$, $\nu_м$ – модуль упругости и коэффициент Пуассона аморфной матрицы (выбираются из справочной литературы); E – модуль упругости полимерного материала сферолитного строения.

Модуль упругости E определяется выражением [6]

$$E_V = E_м \frac{E_c(1+\nu_м) + 2\chi^2 E_c(1-2\nu_м) + 2E_м(1-\chi^2)(1-2\nu_c)}{3\left[E_c(1-\chi^2)(1-2\nu_м)(1+\nu_м) + \chi^2 E_м(1+\nu_м)(1-2\nu_c) + 2E_м(1-2\nu_м)(1-2\nu_c)\right]}. \quad (7)$$

Согласно рисунку 2, межосевое расстояние равно

$$a = 2R\cos\varphi_0 + h_1 = R + h_1 + R - h_z, \quad (8)$$

где R – радиус зубчатых валков.

Учитывая, что $h_2 - h_1 = \varepsilon_{CT} h_1$, из уравнения (8) определим угол, при котором полимерный материал захватывается валками. В соответствии с рисунком 2 выражение для определения данного угла можно записать следующим образом:

$$\cos\varphi_0 = \frac{2R - h_z - \varepsilon_{ст} h_1}{2R}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{ст}$ – деформация сжатия полимерного материала.

Изгиб полимерного материала определяется соотношением

$$b = 2R(\cos\varphi - 1) + h_z - h_2. \quad (10)$$

С учетом толщины материала выражение (10) принимает вид

$$b = 2R\left(\frac{h_1}{2R} + \cos\varphi - 1\right) + h_z - h_2. \quad (11)$$

Из рисунка 2, учитывая (11), определим деформацию растяжения полимерного материала:

$$\Delta l = 2\sqrt{\left[2R\left(\frac{h_1}{2R} + \cos\varphi - 1\right) + h_z - h_2\right]^2 + \frac{t^2}{4}} - t \quad (12)$$

и относительную деформацию

$$\varepsilon_p = \frac{2\sqrt{\left[2R\left(\frac{h_1}{2R} + \cos\varphi - 1\right) + h_z - h_2\right]^2 + \frac{t^2}{4}}}{t} - 1. \quad (13)$$

На рисунке 2 видно, что в результате прохождения полимерного материала между зубцом одного валка и впадиной другого, его толщина изменяется на величину

$$\delta = -\varepsilon_{ст} h_1. \quad (14)$$

Наибольшее сжатие полимерного материала имеет место на боковой поверхности зуба, поэтому при расчете изменения толщины материала необходимо учитывать величину, которая является постоянной для определенного перерабатывающего устройства. Учитывая вышесказанное, перепишем (14) следующим образом:

$$\delta = -\varepsilon_{ст} h_1 \sin\frac{\beta}{2} = h_1 - h_2 = -\varepsilon_{ст} h_1 \sin\frac{\beta}{2}. \quad (15)$$

Решая уравнение (15) относительно угла с учетом уравнений (8) и (9), получим следующее

выражение:

$$\cos\varphi = 1 - \frac{\varepsilon_{cr} h_1}{(2R - h_z)\sin\frac{\beta}{2}} . \quad (16)$$

При угле вращения зубчатых валков φ_1 расстояние между боковыми поверхностями зубьев будет равняться конечной толщине полимерного материала h_2, то есть $h_1(1 - \nu\varepsilon_p)$. Тогда из уравнения (16) косинус угла φ_1 равен

$$\cos\varphi_1 = \frac{(2R - h_z)\sin\frac{\beta}{2} - h_1(1 - \nu\varepsilon_p)}{(2R - h_z)\sin\frac{\beta}{2}} . \quad (17)$$

Результаты вычислений по формуле (17) представлены на рисунке 3.

По рисунку 3 можно определить, что разница между значениями углов вращения зубчатых валков, при которых заканчивается упругая и начинается пластическая деформация полимерных материалов, составляет величину меньше 1^0. Таким образом, в дальнейших расчетах можно использовать значение угла вращения зубчатых валков, при котором начинается пластическая деформация полимерного материала. Так, для полиэтиленовой пленки это соответствует деформации $\varepsilon_p = 0{,}85$; для полиэтилентерефталата – $\varepsilon_p = 0{,}93$; для полипропиленовой пленки – $\varepsilon_p = 0{,}78$ [7].

Из уравнения (16) с учетом выражения (14) получим выражение для определения толщины полимерного материала при определенном угле вращения зубчатых валков:

$$\delta = (2R - h_z)\sin\frac{\beta}{2}(\cos\varphi - 1) . \quad (18)$$

На рисунке 4 приведены графические зависимости толщины δ полимерного материала от угла вращения зубчатых валков φ при различных значениях угла профиля зубцов β.

На графиках можно видеть, что чем больше угол профиля зубьев, тем больший требуется угол вращения валков для получения заданной толщины полимерного материала, при которой начинается его пластическая деформация. А больший угол вращения зубчатых валков требует большего расхода электрической энергии.

Для обеспечения необходимого усилия прижатия полимерного материала к вершинам зубцов, при котором отсутствует скольжение материала по боковой поверхности зуба, необходимо, чтобы угол профиля был как можно меньше. Кроме того, как известно [4], чем меньше угол профиля зубьев, тем большей будет деформация полимерного материала.

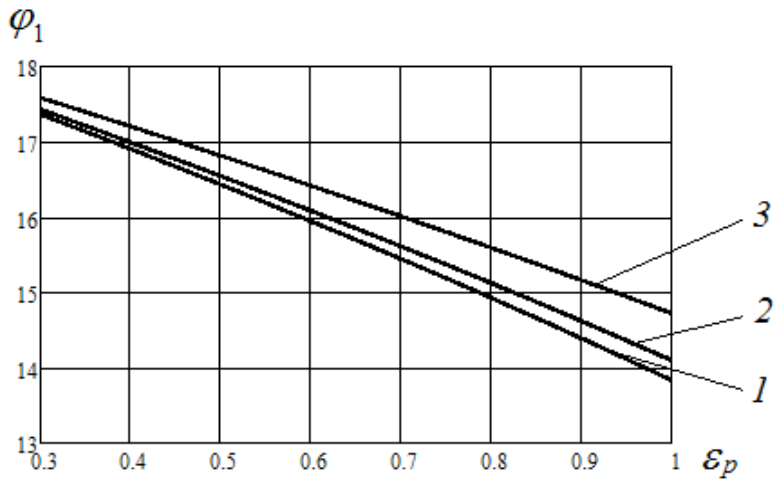


Рисунок 3 – Зависимость угла вращения зубчатых валков от деформации полимерного материала: 1 – полиэтилен; 2 – полиэтилентерефталат; 3 – полипропилен

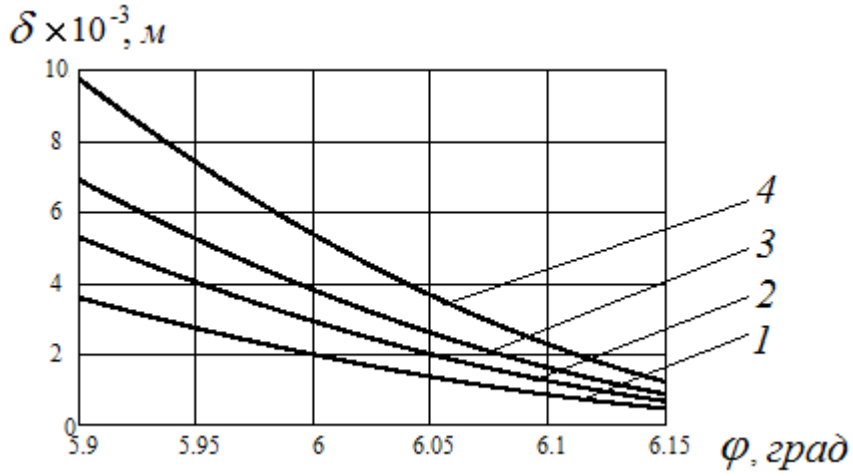


Рисунок 4 – Зависимость толщины полимерного материала от угла вращения зубчатых валков при значениях угла профиля зубьев: 1 – $\beta = 30^0$; 2 – $\beta = 45^0$; 3 – $\beta = 60^0$; 4 – $\beta = 90^0$

С другой стороны, угол профиля зубьев должен быть не менее критического значения, при котором возможно разрушение самих зубьев.

В дальнейшем будет проведен силовой расчет процесса деформации полимерного материала в зубчатых валках, который определит минимальное значение угла профиля зубцов.

При вращении зубчатых валков на угол $d\varphi$ толщина полимерного материала изменится на $d\delta$, то есть:

$$d\delta = -(2R - h_z)\, \sin\frac{\beta}{2}\, \sin\varphi\, d\varphi\,. \qquad (19)$$

Относительную деформацию сжатия ε_{CT} определим из зависимости

$$d\varepsilon_{ст} = \frac{-(2R - h_z)\, \sin\frac{\beta}{2}\, \sin\varphi}{h_1(1 - \nu\varepsilon_p)}\, d\varphi\,. \qquad (20)$$

Проинтегрировав (20), получим

$$\varepsilon_{ст} = \frac{(2R - h_z)\, \sin\frac{\beta}{2}\, \cos\varphi}{h_1(1 - \nu\varepsilon_p)} + C_1\,. \qquad (21)$$

Для определения постоянной интегрирования воспользуемся начальными условиями деформации полимерного материала, то есть $\varepsilon_{ст} = 0$ при $\varphi = \varphi_1$:

$$C_1 = -\frac{(2R - h_z)\, \sin\frac{\beta}{2}}{h_1(1 - \nu\varepsilon_p)}\, \cos\varphi_1\,. \qquad (22)$$

Подставив значение постоянной интегрирования в (21) получим выражение для определения максимальной относительной деформации сжатия полимерного материала при прохождении его между зубчатыми валками:

$$\varepsilon_{ст} = \frac{(2R - h_z)\, \sin\frac{\beta}{2}}{h_1(1 - \nu\varepsilon_p)}\, (\cos\varphi_0 - \cos\varphi_1)\,. \qquad (23)$$

С целью фиксации полимерного материала в растянутом состоянии следует подвергнуть его сжатию, что можно осуществить, вращая зубчатые валки на угол от φ_0 до φ_1, где φ_0 – угол, при котором начинается упругая деформация полимерного материала, а φ_1 – угол, при котором заканчивается упругая и начинается пластическая деформация полимерного материала (определяются из уравнения (17)). При этом уменьшается прочность полимерного материала в направлении, перпендикулярном растяжению. Далее ослаблен полимерный материал пропус-

кают между валками, имеющими профиль Рьоло.

Определяемая по выражению (23) деформация сжатия ε_{CT}, которую обеспечивает устройство с вращающимися зубчатыми валками, не должна быть меньше значения деформации сжатия $\hat{\varepsilon}_2$, полученной из [8], которая обеспечивает пластическую деформацию в направлении, поперечном к направлению извлечения полимерного материала. В результате осуществляется фиксация растянутого полимерного материала.

На рисунке 5 приведена зависимость высоты зубьев h_z от значения деформации сжатия ε_{CT} при разных углах профиля зубьев для следующих полимерных материалов:

– полиэтилена ($E_c = 1020$ МПа, $\nu_c = 0{,}37$; $E_м = 77$ МПа, $\nu_м = 0{,}39$; $\chi = 0{,}68$);

– полиэтилентерефталата ($E_c = 8239$ МПа, $\nu_c = 0{,}32$; $E_м = 2000$ МПа, $\nu_м = 0{,}39$; $\chi = 0{,}40$);

– полипропилена ($E_c = 2500$ МПа, $\nu_c = 0{,}32$; $E_м = 92$ МПа, $\nu_м = 0{,}45$; $\chi = 0{,}75$).

Анализ результатов, представленных графическими зависимостями на рисунке 5, показывает, что для обеспечения фиксации предварительно ориентированной структуры полимерного материала необходимо определить такие конструкционные параметры устройства, при которых обеспечивается нужная деформация сжатия. Так, например, для фиксации вытянутой структуры полиэтиленовой пленки (рисунок 5 *а*) согласно [8] необходимо обеспечить деформацию сжатия $\varepsilon_c = 0{,}65$, которая может быть создана валками диаметром $D = 100$ мм с высотой зубьев $h_z = 8$ мм и углом профиля зубьев $\beta = 30^0$. Кроме того, в зависимости от толщины полимерного материала, можно изменять зазор между зубчатыми валками. Это обеспечит требуемое значение деформации сжатия для полимерных отходов различной толщины.

Аналогичный анализ графиков выполняется для полиэтилентерефталата и полипропиленовой пленки (рисунок 5 *б*, *в*).

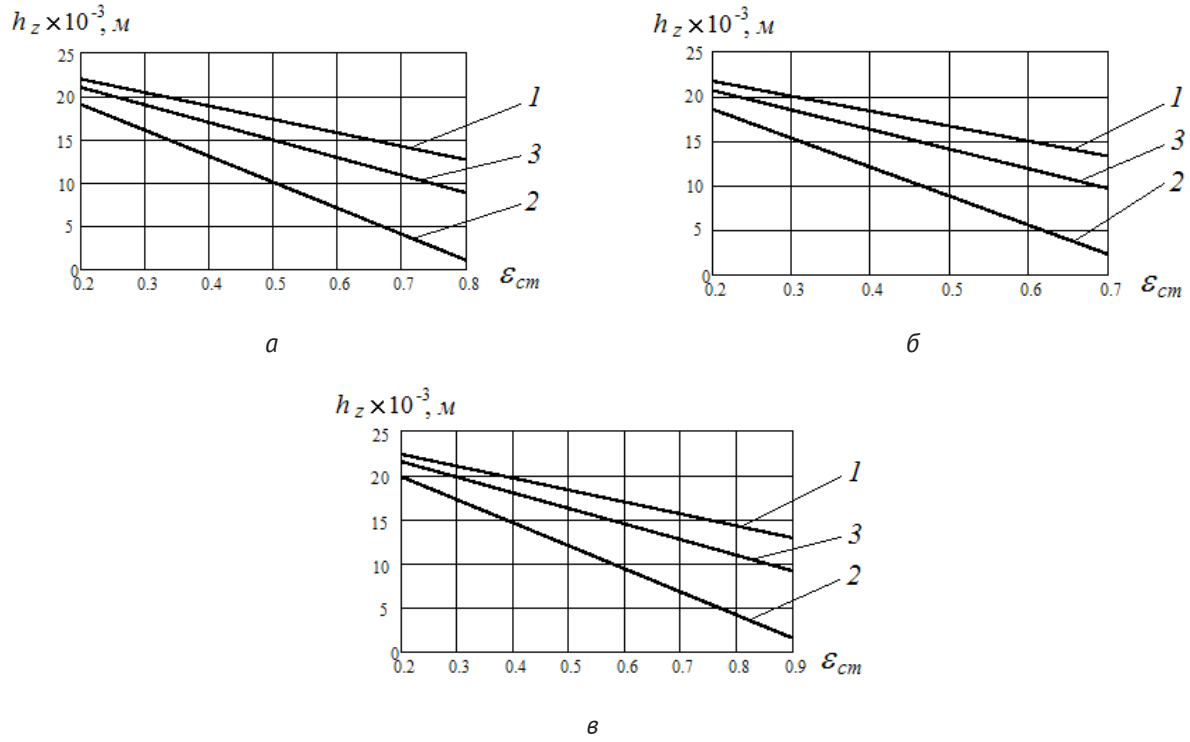


Рисунок 5 – Зависимость высоты зубьев h_z от значения деформации сжатия ε_{CT} при значениях угла профиля зубьев 1 – $\beta = 60^0$; 2 – $\beta = 30^0$; 3 – $\beta = 45^0$ для различных материалов: а – полиэтиленовая пленка; б – полиэтилентерефталат; в – полипропиленовая пленка

ВЫВОДЫ

При проектировании устройства для переработки полимерных отходов необходим предварительный расчет значений его основных параметров, таких как: диаметр зубчатых валков, высота зубьев, угол профиля зубьев, частота вращения валков, при которых обеспечивается ориентированная структура полимерного материала. Полученные значения этих параметров можно использовать для изготовления энергоэффективного перерабатывающего оборудования.

Аналитические исследования влияния конструктивных параметров на деформацию растяжения и сжатия полимерного материала для обеспечения необходимой для дальнейшей переработки структуры материала позволили разработать рекомендации для переработки таких полимерного материалов:

– для переработки полиэтиленовой пленки необходимо, чтобы диаметр зубчатых валков составлял от 70 до 100 мм, рекомендуемая высота зубьев – 6 ... 8 мм, угол профиля зубьев – 30 ... 450°;

– для полиэтилентерефталата необходимо, чтобы диаметр зубчатых валков составлял от 60 до 120 мм, высота зубьев – 4 ... 6 мм, угол профиля зубьев – 40 ... 600°;

– для полипропиленовой пленки необходимо, чтобы диаметр зубчатых валков составлял от 90 до 130 мм, высота зубьев – 4 ... 8 мм, угол профиля зубьев – 45 ... 700°.

Таким образом, для переработки полимерных материалов, указанных выше, рекомендуется спроектировать устройство с вращающимися зубчатыми валками с такими конструктивными параметрами: диаметр валков $D = 100$ мм, высота зубьев $h_z = 6$ мм, угол профиля зубьев $\beta = 30^0$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бутко, А. Е. (2015), Украинский рынок утилизации полимерных отходов и ключевые тенденции его развития, *Молодий вчений*, 2015, № 2(17), С. 139–142.

2. Базунова, М. В., Прочухан, Ю. А. (2008), Способы утилизации отходов полимеров, *Вестник Башкирского университета*, 2008, Т. 13, № 4, С. 875–885.

3. Рубанка, М. М., Місяць, В. П. (2015), Відходи легкої промисловості, способи переробки та області подальшого використання, *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*, 2015, № 4, С. 34–39.

4. Синюк, О. М. (2017), Визначення раціональних конструкційних параметрів пристроїв для переробки полімерів, *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 2017, № 3, С. 42–49.

REFERENCES

1. Butko, A. E. (2015), Ukrainian market of polymer waste recycling and key trends in its development [Ukrainskij rynok utilizacii polimernyh othodov i kljuchevye tendencii ego razvitija], *Molodij vchenij*, 2015, № 2(17), pp. 139–142.

2. Bazunova, M. V., Prochukhan, Yu. A. (2008), The methods of polymer waste recycling [Sposoby utilizacii othodov polimerov], *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2008, T. 13, № 4, pp. 875–885.

3. Rubanka, M. M., Misiats, V. P. (2015), Waste of light industry, types of recycling and the follow-use [Vidhodi legkoї promislovosti, sposobi pererobki ta oblasti podal'shogo vikoristannja], *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2015, № 4, pp. 34–39.

4. Synyuk, O. M. (2017), Determination of rational structural parameters of devices for polymer processing [Vyznachennja racional'nih

5. Синюк, О. М., Скиба, М. Е. (2016), Моделювання зміни надмолекулярної структури полімерних матеріалів при орієнтаційній витяжці, *Вісник Хмельницького національного університету*, 2016, № 6, С. 45–52.

6. Синюк, О. М. (2016), Визначення пружних властивостей аморфно-кристалічних полімерів сферолітної структури, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 2016, № 6, С. 77–86.

7. Ван Кревелен, Д. В. (1972), *Свойства и химическое строение полимеров*, Москва, Химия, 416 с.

8. Синюк, О. М., Михайловський, А.Ю. (2017), Визначення ефективних пружних властивостей орієнтованих полімерів в поперечному напрямку, *Вісник Хмельницького національного університету технологій та дизайну*, 2017, № 3, С. 29–38.

konstrukcijnih parametriv prystroïv dlja pererobki polimeriv], *Digest of the Ternopil National Tachnical University*, 2017, № 3, pp. 42–49.

5. Synyuk, O. M., Skyba, M. Ye. (2016), Modelling of the change of the supramolecular structure of polymeric materials during the orientation stretching [Modeljuvannja zmini nadmolekuljarnoï strukturi polimernih materialiv pri orієntacijnij vitjazhci], *Bulletin of Khmelnytskyi national university*, 2016, № 6, pp. 45–51.

6. Synyuk, O. M. (2016), Determination of the elastic properties of amorphous-crystalline polymers with spherulite structure [Viznachennja pruzhnih vlastivostej amorfno-kristalichnih polimeriv sferolitnoï strukturi], *Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 2016, № 6, pp. 77–86.

7. Van Krevelen, D. V. (1972), *Svojstva i himicheskoe stroenie polimerov* [Properties and chemical structure of the polymers], Moskva, Khimiya, 416 p.

8. Synyuk, O. M. Mihajlovskij, A. Ju. (2017), Determination of effective elastic properties of oriented polymers in the transverse direction [Viznachennja efektivnih pruzhnih vlastivostej oriyentovanyh polimeriv v poperechnomu napryamku], *Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design*, 2017, № 3, pp. 29–38.

Статья поступила в редакцию 01. 09. 2017 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МУЛЬТИФИЛАМЕНТНЫХ НИТЕЙ В ЧУЛОЧНО-НОСОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

THE USE OF MULTIFILAMENT YARNS IN HOSIERY

УДК 677.025.1:687

А.В. Чарковский, В.А. Гончаров*
Витебский государственный технологический университет

A. Charkovskij, V. Goncharov*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МУЛЬТИФИЛАМЕНТНАЯ НИТЬ, ПЕТЛЯ, ПРОТЯЖКА, ГРУНТОВАЯ НИТЬ, ПЛАТИРОВОЧНАЯ НИТЬ, ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ПЕРЕПЛЕТЕНИЕ, ФИЛАМЕНТЫ НИТИ, СТОРОНА ТРИКОТАЖА

Целью работы является изучение особенностей структуры трикотажа, изготовленного с использованием мультифиламентных нитей, и установление целесообразности использования этих нитей в производстве носочных изделий.

Изготовлены экспериментальные образцы изделий. Рассмотрены особенности структуры трикотажа платированных переплетений, изготовленных из мультифиламентных полиэфирных нитей предприятия «СветлогорскХимволокно».

Установлена целесообразность использования мультифиламентных полиэфирных нитей для изготовления носочных изделий платированным перекидным переплетением.

Результаты работы рекомендуются для использования при разработке ассортимента носочных изделий.

ABSTRACT

MULTI-FILAMENT YARN, LOOP, BROACH, GROUND THREAD, PLATTING THREAD, GEOMETRIC PATTERN, WEAVE, FILAMENT FILAMENTS, KNIT FACE

The purpose of the work is to study the features of the structure of knitwear produced using multifilament yarns and to determine the feasibility of using these yarns in the production of socks.

Experimental samples of products are made. The peculiarities of the structure of knitwear of the plaited weaves made of multifilament polyester yarns of the company "SvetlogorskKhimvolokno" are examined.

The expediency of using multifilament polyester yarns for fabrication of socks with a paid flip weave has been established.

The results of the work are recommended for use in the development of an assortment of socks.

Целью работы является изучение особенностей структуры трикотажа, изготовленного с использованием мультифиламентных нитей, и установление целесообразности использования этих нитей в производстве носочных изделий.

Переплетение является важнейшей структурной характеристикой чулочно-носочных изделий. Оно во многом формирует внешний вид, свойства и назначения изделий. От переплетения зависит толщина, вес, растяжимость, упругость, прочность, распускаемость, воздухопроницаемость, теплозащитные и другие свойства трикотажа.

Для чулочно-носочных изделий применяются кулирная гладь, ластик различных раппортов, платированные гладкие и рисунчатые, ажурные, жаккардовые, плюшевые переплетения. Отдельные части чулочно-носочных изделий могут быть выработаны разными переплетениями [1, 2, 3].

Для производства чулочно-носочных изделий

* E-mail: *akt1v@tut.by* (V. Goncharov)

широко используют платированные переплетения, в частности платированные перекидные.

В кулирном трикотаже платированных перекидных переплетений (рисунок 1) наряду с петлями 1, образованными из двух, грунтовой ***Г*** и платировочной ***П***, нитей имеются петли 2, образованные только из одной, грунтовой, нити ***Г***.

Трикотаж одного и того же переплетения в равновесном состоянии может иметь различную форму петель. Форма, которую принимают петли в трикотаже одного и того же переплетения, зависит от многих факторов, одним из важнейших которых является вид нитей (пряжи), используемых для выработки трикотажа.

На рисунке 1 [4] представлена геометрическая модель трикотажа платированного перекидного переплетения в случае использования одинаковых нитей в качестве грунтовых ***Г***, и платировочной ***П***. Часто в качестве грунтовых и платировочных используют различные по виду и толщине нити – грунтовые более тонкие, чем платировочные. Из-за разной упругости грунтовых и платировочных нитей петли изменяют форму, и в результате в трикотаже образуются отверстия, имитирующие ажурный рисунок.

На рисунке 2 представлена геометрическая модель трикотажа платированного перекидного переплетения с ажурным узорным эффектом. Петли 1 образованы из двух нитей – тонкой грунтовой ***Г*** и более толстой платировочной ***П***. Петли 2 из одной грунтовой нити деформированы петлями 3, состоящими из двух, грунтовых ***Г*** и платировочных ***П*** нитей. В трикотаже в этих местах образуются отверстия ***О***, имитирующие ажурный рисунок (рисунок 2).

В настоящее время быстрыми темпами растет производство мультифиламентных синтетических нитей [5, 6]. Такие нити, обладая очень большим количеством элементарных нитей – филаментов, позволяют получать трикотаж с улучшенными потребительскими свойствами, например с более мягким грифом, по сравнению с трикотажем, полученным из нитей с обычным числом филаментов. В Республике Беларусь предприятие ОАО «СветлогорскХимволокно» в последнее время освоило производство мно-

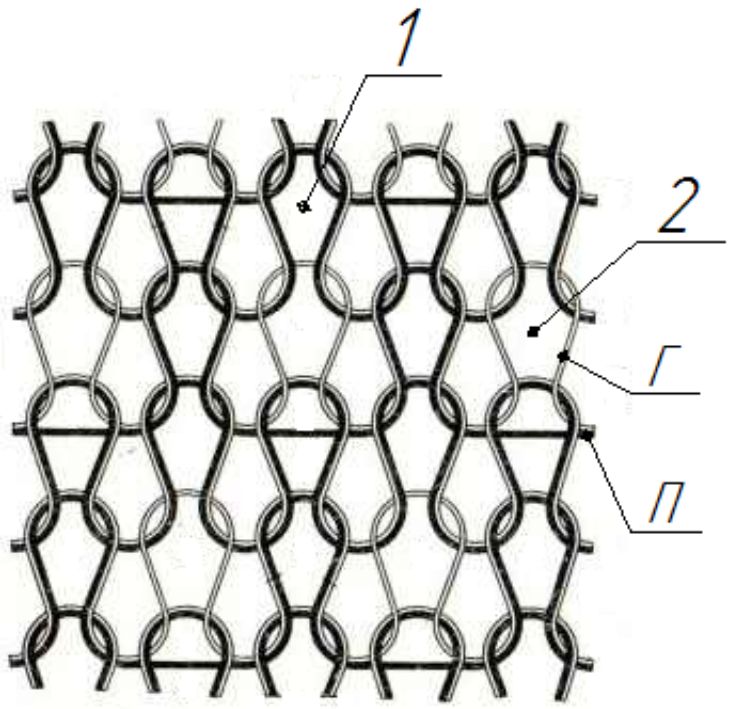


Рисунок 1 – Геометрическая модель трикотажа платированного перекидного переплетения

гих видов мультифиламентных нитей. Число филаментов в нитях средней группы линейных плотностей доходит до 288 филаментов, что в несколько раз превышает количество филаментов в обычных нитях.

В данной работе изложены результаты использования мультифиламентных нитей в носочных изделиях.

Экспериментальная часть работы выполнена в соответствии с внутренним стандартом «Порядок разработки и постановки на производство чулочно-носочных изделий» предприятия ООО «Фабрика «Василина». Соблюдены все требования при разработке опытного образца (ассортимент – женские носки с использованием полиэфирных нитей). Заправочные данные приведены в таблице 1.

Получены экспериментальные образцы носочных изделий. Борт изготовлен комбинированным переплетением из полиэфирной мультифиламентной нити линейной плотностью 16,7текcf288, комплексной эластомерной нити

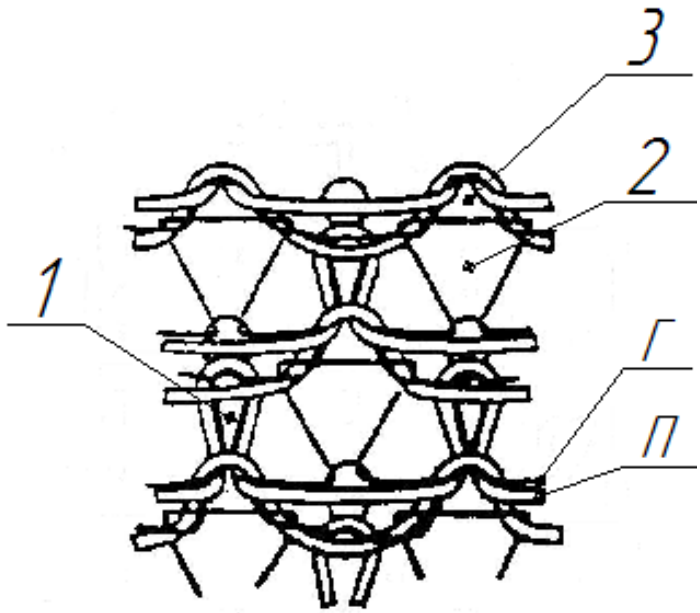


Рисунок 2 – Геометрическая модель трикотажа платированного перекидного переплетения с ажурным эффектом

Таблица 1 – Заправочные данные изделия

Арт.	Вид, тип класс, диаметр оборудования	Наименование переплетения	Вид и линейные плотность нитей (пряжи) на участке, текс		
			Борт	Паголенок, след	Пятка, мысок
7с3255	Одноцилиндровый «SOSAN», Диаметр 3 3/4, 156 игл	Перекидная платировка	ПЭ 16,7F288+ лат.опл. Ø 0,25–0,3 мм + н.к.эл. 22 дтекс оплет. пэ 8,4 текс Рис: ПП 11*2 текс	ПЭ 16,7F288+ н.к.эл. 22 дтекс оплет. пэ 8,4 текс	ПЭ 16,7F288+ н.к.эл. 22 дтекс оплет. пэ 8,4 текс

линейной плотностью 22 дтекс, оплетенной полиэфирной нитью с линейной плотностью 8,4 текс, латексной оплетенной нити Ø 0,25–0,3 мм. Паголенок, верхняя часть следа перекидным платированным переплетением, нижняя часть следа – кулирной гладью из полиэфирной мультифиламентной нити линейной плотностью 16,7текcf288, комплексной эластомерной нити линейной плотностью 22 дтекс, оплетенной полиэфиной нитью линейной плотностью 8,4текс. Рисунок на паголенке сформирован переплетением «накладная платировка» из полиэфирной мультифиламентной нити линейной плотностью 16,7текcf288, комплексной эластомерной нити линейной плотностью 22 дтекс, оплетенной полиэфирной нитью линейной плотностью 8,4 текс. Мысок, пятка связаны переплетением «кулирная гладь» из полиэфирной мильтифиламентной нити линейной плотностью 16,7текcf288, комплексной эластомерной нити линейной плотностью 22 дтекс, оплетенной полиэфирной нитью линейной плотностью 8,4 текс.

Визуальный анализ структуры трикотажа выполнялся с использованием комплекса, структурная схема которого изображена на рисунке 3 [7].

С помощью данного комплекса получены увеличенные изображения, позволяющие наглядно продемонстрировать особенности структуры трикотажа платированного перекидного переплетения, связанного с использованием мультифиламентных полиэфирных нитей. Увеличенные протяжки 1 из мультифиламентных нитей расположены свободно на поверхности изнаночной стороны трикотажа (рисунок 4) и образуют застил, создающий опорную поверхность, контактирующую с кожей ноги.

На рисунке 5 приведено увеличенное изображение фрагмента изнаночной стороны трикотажа, на котором 1 – увеличенная протяжка петли из мультифиламентной нити, 2 – платинная дуга петли из грунтовой нити. Толщина мультифиламентной нити в данном случае всего в два раза больше грунтовой нити, но при этом количество филаментов у мультифиламентной нити в 6 раз больше, чем у грунтовой нити. Большое количество филаментов образует развитую пространственную структуру, способную впитывать в силу капиллярных свойств большое количество влаги и отводить ее в верхний слой, наружу носка, обеспечивая сухость ног и комфорт в период использования изделия.

На рисунке 6 приведено изображение лицевой стороны трикотажа переплетения «платированное перекидное». Благодаря тому, что толщина платировочной мультифиламентной нити в два раза больше грунтовой, она образует петли 1 выступающие на наружной, лицевой стороне.

На рисунке 7 увеличенное изображение фрагмента лицевой стороны трикотажа. Остовы петель 1 из мультифиламентных нитей выступают наружу. Большое число филаментов мультифиламентной нити (288 филаментов против 48 филаментов у обычной нити такой же толщины) создает большую суммарную площадь испарения, и влага быстро испаряется с наружной, лицевой стороны трикотажа.

Исследованы свойства экспериментальных образцов по следующим показателям качества: устойчивость к истиранию – след 182 цикла (норма > 80), пятка 259 циклов (норма > 200); растяжимость борта 30 см, паголенка 32 см (норма > 25 см), капиллярность 120 мм. Полученные результаты свидетельствуют о соответствии образцов нормативным показателям.

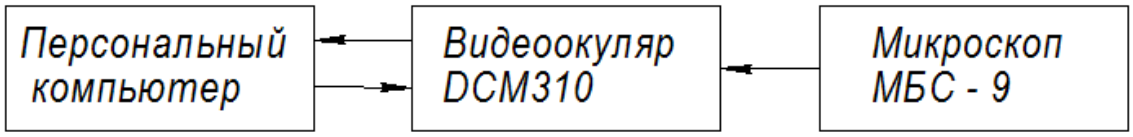


Рисунок 3 – Структурная схема комплекса

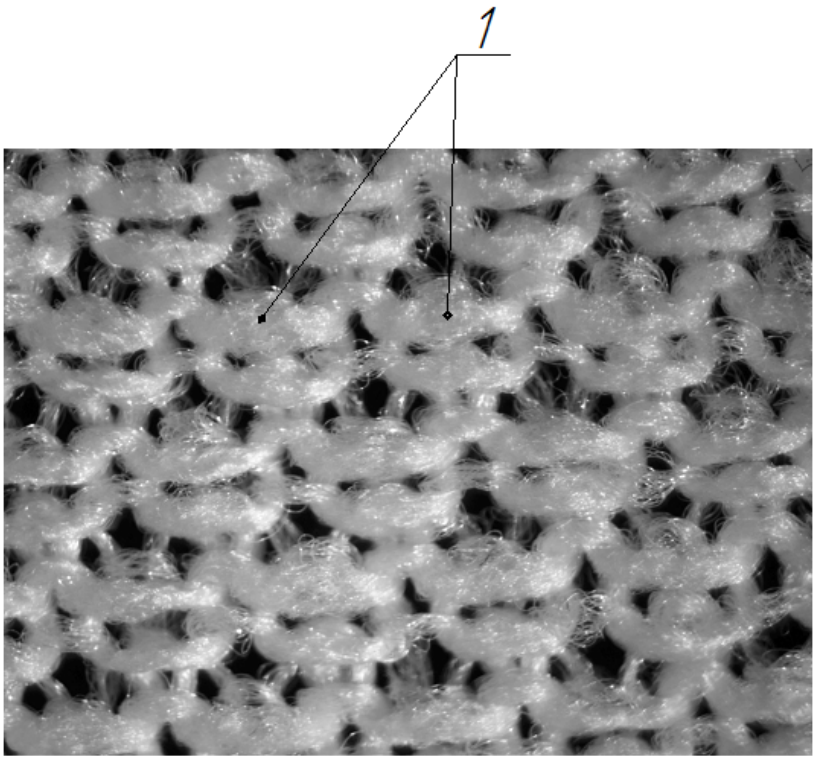


Рисунок 4 – Изображение изнаночной стороны трикотажа переплетения «платированное перекидное»

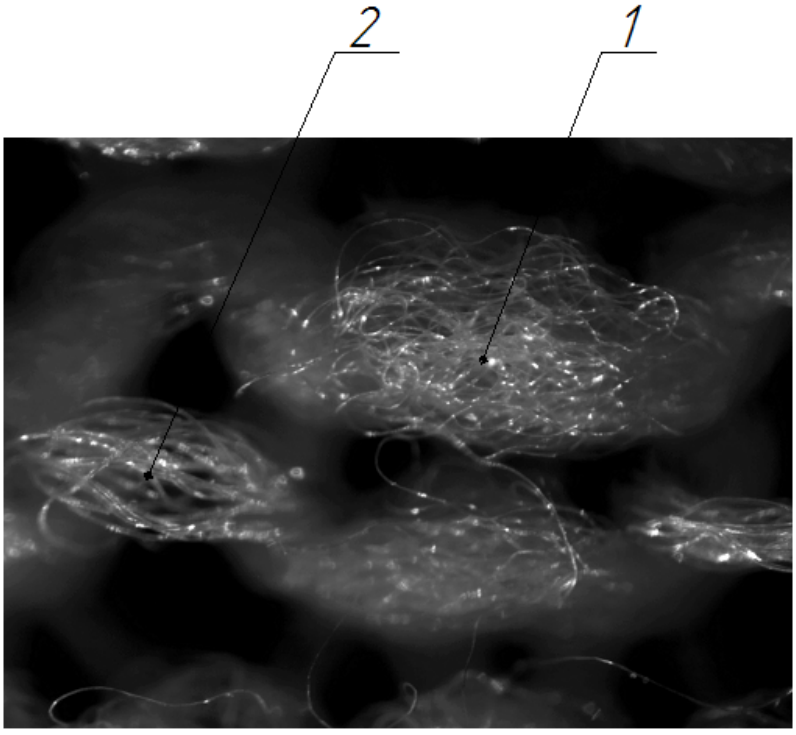


Рисунок 5 – Увеличенное изображение участка изнаночной стороны трикотажа

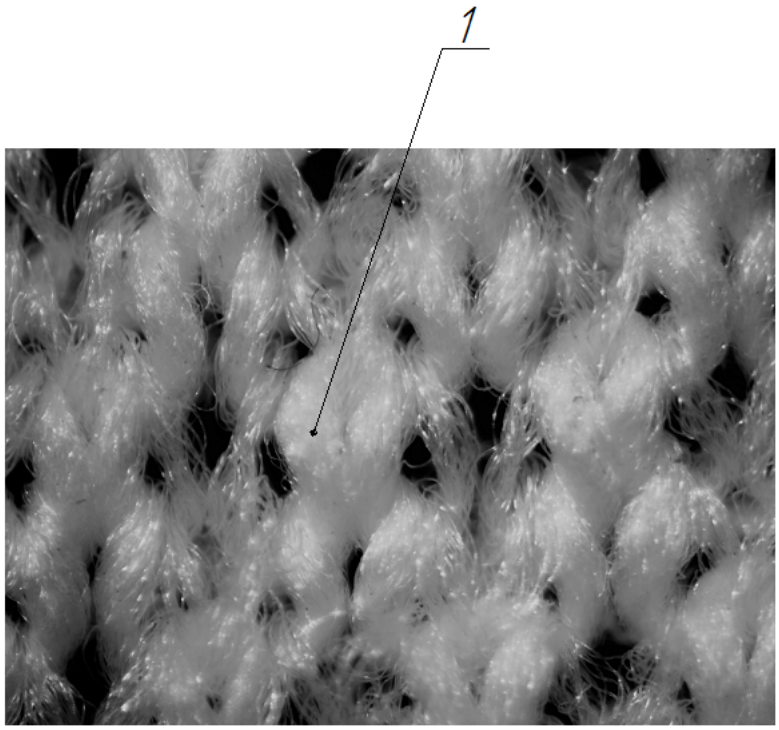


Рисунок 6 – Изображение лицевой стороны трикотажа переплетения «платированное перекидное»

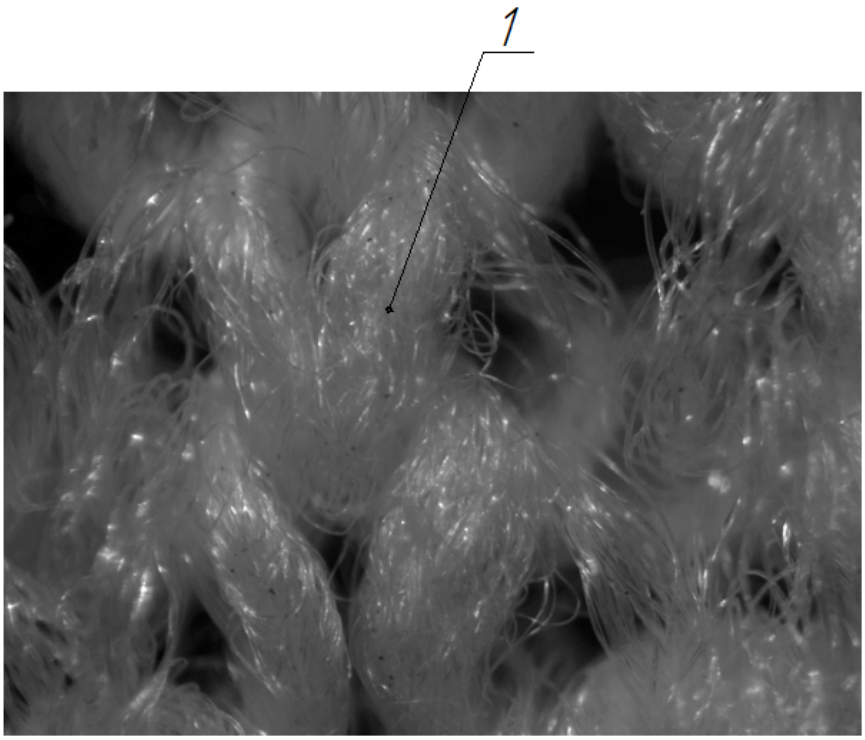


Рисунок 7 – Увеличенное изображение участка лицевой стороны трикотажа

ВЫВОДЫ

В результате выполненных исследований установлена перспективность и целесообразность применения мультифиламентных нитей производства ОАО «СветлогорскХимволокно» для изготовления носочных изделий.

Экспериментальные исследования, выполненные на предприятии ООО «Фабрика «Василина», свидетельствуют о соответствии разработанных изделий нормативным показателям. Кроме того, носочные изделия, изготовленные с применением мультифиламентных нитей, обладают повышенной мягкостью, создают комфортные условия ступне.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Текстильные тенденции, 2014, [Электронный ресурс]. – Режим доступа http://textiletrend.ru/pro-tkani/iskusstvennyie/mikrofibra-innovatsionnaya.html – Дата доступа 09.09.2017

2. Ассортимент трикотажных изделий, 2010, [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttp://lib.rosdiplom.ru/library/prosmotr.aspx?id=125898 – Дата доступа 09.09.2017

3. Трикотажные изделия, 2015, [Электронный ресурс]. – Режим доступа https://lektsii.org/4-23982.html – Дата доступа 14.09.2017

4. Чарковский, А. В. (2006), *Строение и производство трикотажа рисунчатых и комбинированных переплетений: учебно-методический комплекс*, Витебск, УО «ВГТУ», 416 с.

5. История создания микроволокна, 2013, [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttp://www.liveinternet.ru/users/sancase/post273541542 – Дата доступа 20.09.2017

6. Микроволокна, 2015, [Электронный ресурс]. – Режим доступаhttp://sewingschool.ru/articles/microfiber.php –Дата доступа 20.09.2017

REFERENCES

1. *Tekstil'nye tendencii* [Textile trends], (2014), available at: http://textiletrend.ru/pro-tkani/iskusstvennyie/mikrofibra-innovatsionnaya.html - (accessed 09.09.2017).

2. *Assortiment trikotazhnyh izdelij* [Assortment of knitted goods], (2010), available at: http://lib.rosdiplom.ru/library/prosmotr.aspx?id=125898 – (accessed 09.09.2017).

3. *Trikotazhnye izdelija* [Knittedgoods],(2015), available at: https://lektsii.org/4-23982.html – (accessed 14.09.2017).

4. Charkovskij, A. V. (2006), *Stroenie i proizvodstvo trikotazha risunchatyh i kombinirovannyh perepletenij: uchebno-metodicheskij kompleks* [The structure and production of knitwear patterned and combined interlacing: teaching and methodological complex], Vitebsk, UO «VGTU», 416 p.

5. *Istorija sozdanija mikrovolokna* [History of the creation of microfiber], (2013), available at: http://www.liveinternet.ru/users/sancase/post273541542 – (accessed 20.09.2017).

6. *Mikrovolokna* [Microfiber], (2015), available at:

7. Чарковский, А. В., Шелепова, В. П. (2015), *Анализ трикотажа главных и производных переплетений с использованием визуальных изображений структуры: учебно-методическое пособие,* Витебск, УО «ВГТУ», 102 с.

http://sewingschool.ru/articles/microfiber.php – (accessed 20.09.2017).

7. Charkovskij, A. V., Shelepova, V. P. (2015), *Analiz trikotazha glavnyh i proizvodnyh perepletenij s ispol'zovaniem vizual'nyh izobrazhenij struktury: uchebno-metodichesko eposobie* [Analysis of the knitwear of the main and derivative interlaces using visual images of the structure: a teaching aid], Vitebsk, UO «VGTU», 102 p.

Статья поступила в редакцию 13. 10. 2017 г.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ТЕРРАКОТОВОЙ КЕРАМИЧЕСКОЙ ПЛИТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОДУКТОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

DEVELOPMENT OF TERRACOT CERAMIC TILES MANUFACTURING TECHNOLOGY WITH USE OF TECHNOGENIC PRODUCTS OF ENERGY COMPLEX

УДК 691.4

А.С. Ковчур[1]*, В.К. Шелег[2], С.Г. Ковчур[1], А.В. Гречаников[1], П.И. Манак[3], А.В. Захаренко[3]

[1] Витебский государственный технологический университет

[2] Белорусский национальный технический университет

[3] ОАО «Обольский керамический завод»

A. Kauchur[1]*, V. Sheleh[2], S. Kauchur[1], A. Hrachanikau[1], P. Manak[3], A. Zakharenka[3]

[1] Vitebsk State Technological University

[2] Belarusian National Technical University

[3] JSC «Obolsky Ceramic Plant»

РЕФЕРАТ

ОСАДКИ ХИМВОДОПОДГОТОВКИ, ШЛАМЫ, ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ, СТАНЦИИ ОБЕЗЖЕЛЕЗИВАНИЯ, ПЛИТКА КЕРАМИЧЕСКАЯ ТЕРРАКОТОВАЯ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Основной целью представленной работы является разработка нового состава и технологического регламента производства инновационного продукта – керамической терракотовой плитки с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ. Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт комплексного использования сырья, что одновременно приводит к ликвидации огромного экологического ущерба, оказываемого хранилищами отходов. Одно из направлений переработки техногенных продуктов энергетического комплекса – их использование в производстве строительных и отделочных материалов, что является важным резервом ресурсосбережения в строительстве. В результате проведённых исследований установ-

ABSTRACT

PRECIPITATION OF CHEMICAL WATER TREATMENT, SLIMES, COMBINED HEAT AND POWERPLATS, DEIRONING SRATIONS, CERAMIC TERRACOTTA TILE, GRAIN SIZE DISTRIBUTION

The main purpose of the work is the development of a new composition and technological regulations for the production of an innovative product – ceramic terracotta tiles using slime waste from deferrization stations and heat and power plants. Rational use of natural resources is now becoming particularly important. The solution of this current economic problem assumes development of effective waste-free technologies due to complex use of raw materials that at the same time leads to elimination of the huge ecological damage rendered by storage of waste. One of the directions of processing of technogenic products of a power complex is their use in production of construction and finishing materials, that is an important reserve of resource-saving in construction. As a result of the conducted researches the possibility of using such wastes for the production of ceramic building materials is found. The composition of the ceramic mass and the technological procedure for the production of tiles with the additive

* E-mail: *askovch@tut.by* (A. Kauchur)

лена возможность использования таких отходов для производства керамических строительных материалов. Разработан состав керамической массы и технологический регламент производства плитки с добавкой неорганических отходов (осадки химводоподготовки (код 8410500), проведены гранулометрические исследования компонентов смеси. На ОАО «Обольский керамический завод» изготовлена опытно-экспериментальная партия терракотовой керамической плитки для проведения дальнейших исследований физико-химических и физико-механических показателей.

of inorganic wastes (precipitation of chemical water treatment (code 8410500)) were developed, grain size distribution test of components of the mixture was conducted. At JSC "Obolsky Ceramic Plant" a pilot experimental batch of terracotta ceramic tiles was made for further research of physical, chemical and physical-mechanical parameters.

Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Решение этой актуальной народнохозяйственной проблемы предполагает разработку эффективных безотходных технологий за счёт комплексного использования сырья, что одновременно приводит к ликвидации огромного экологического ущерба, обусловленного хранилищами отходов. Большинство отходов промышленного производства могут заменить природные ресурсы, а во многих случаях по своим качественным показателям являются уникальным сырьём. Годовой экономический ущерб от загрязнения окружающей среды отходами производства и потребления оценивается на уровне 10 % от ВВП.

Ежегодно на теплоэлектроцентралях (ТЭЦ) и станциях обезжелезивания образуются тысячи тонн отходов, которые состоят в основном из нерастворимых оксидов, гидроксидов, карбонатов железа, кальция, магния, и являются ценным химическим сырьём. Вопрос переработки отходов, образующихся после водоподготовки на станциях обезжелезивания и ТЭЦ, в Республике Беларусь до сих пор не решён. Согласно данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, ежегодно на ТЭЦ, входящих в соства РУП «Минскэнерго», образуется 3700–3800 тонн железосодержащих отходов (Минские ТЭЦ № 3, № 4, № 5). По данным Витебского областного комитета природных ресурсов и охраны окружающей среды на территории области накопилось около 7000 тонн железосодержащих отходов, имеющих 3 класс опасности. Данные о количестве железосодержащих отходов по областям Республики Беларусь: Гомельская область – 1176,89 тонн; Витебская область – 114 138,54 тонн; Минская область – 3910,54 тонн; г. Минск – 7193,85 тонн. Всего по республике – 126 419,82 тонн [1].

Одно из направлений переработки техногенных продуктов энергетического комплекса – их использование в производстве строительных и отделочных материалов, что является важным резервом ресурсосбережения в строительстве.

В настоящее время поиск современного, инновационного ассортимента продукции строительных и отделочных материалов может заинтересовать потенциального покупателя в трудных условиях сформировавшегося рынка и является сложной, но решаемой задачей. В результате проведенного мониторинга рынка отделочных материалов маркетинговой службой ОАО «Обольской керамический завод» выявлена устойчивая заинтересованность потребителей в приобретении терракотовой керамической плитки для внутренней стеновой отделки.

Керамическая плитка – изготовленное из керамической массы плоское тонкостенное глазурованное или неглазурованное изделие, применяемое для внутренней облицовки стен и стеновых панелей.

Керамическая плитка на протяжении многих лет остается очень актуальной в современном интерьере. Она устойчиво занимает лидирующие позиции в оформлении некоторых функци-

ональных зон интерьера благодаря огромному выбору вариантов. С помощью современной керамической плитки, мозаики, ковров из керамических плиток (набора плиток, наклеенных на лист бумаги, предназначенных для облегчения работ при укладке), можно создать интерьер самых разнообразных цветовых и стилистических решений. Поэтому терракотовая плитка пользуется заслуженным вниманием со стороны дизайнеров и проектировщиков, что обеспечивает ее присутствие в проектах декорирования и отделки интерьеров квартир, офисов, отелей и ресторанов.

Одним из наиболее актуальных и интересных направлений является использование терракотовой плитки в облицовке компонентов отопительных и банных систем. Терракотовая плитка является одним из лучших материалов для облицовки каминов по своим теплотехническим свойствам и привлекательности. Также она используется как экологически чистая, жаростойкая, долговечная, эстетичная облицовка для домовых печей, печей-барбекю, мангальных зон, защитных экранов в парной вокруг печи-каменки, отделки и защиты зоны топки банной печи.

Целью представленной работы является разработка нового состава и технологического регламента производства инновационного продукта – керамической терракотовой плитки для внутренней облицовки стен и стеновых панелей с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Предприятия для осуществления деятельности, связанной с воздействием на окружающую среду, на основании решений Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь должны получить специальное разрешение (лицензию). Производственный цех № 2 ОАО «Обольский керамический завод» зарегистрирован в реестре № 2864 объектов по использованию отходов, согласно которому он может принимать техногенные продукты других организаций, в том числе осадки химводоподготовки (код 8410500), от станций обезжелезевания и ТЭЦ [2].

Техногенные продукты энергетического комплекса (шламовые осадки химводоподготовки) в естественном виде представляют собой влажную массу тёмно-коричневого цвета. В зависимости от времени года и места образования отходы содержат от 5 до 35 % влаги. Фазовый состав отходов представлен на рисунке 1.

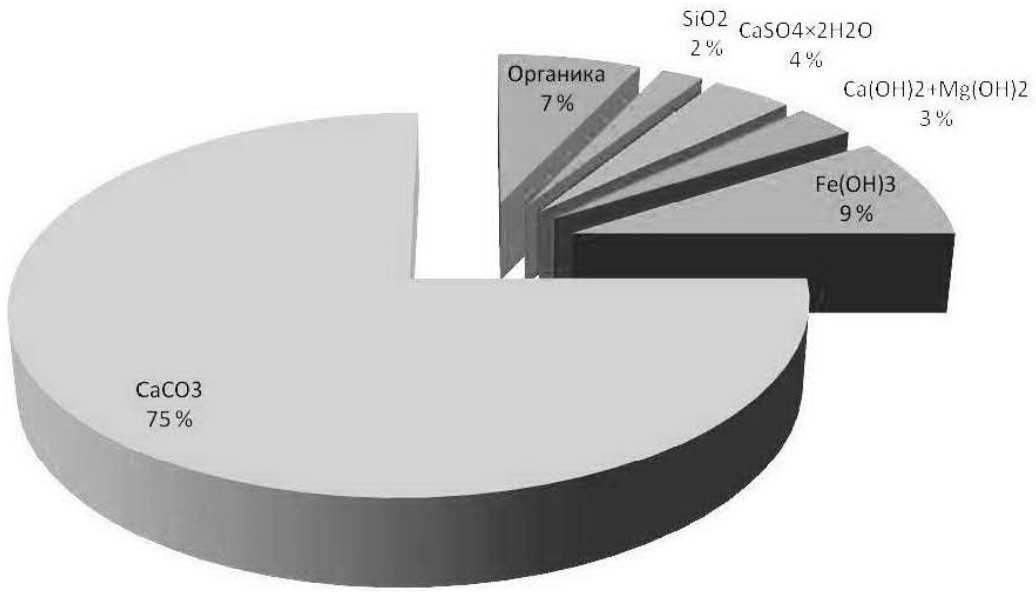


Рисунок 1 – Фазовый состав железосодержащих отходов

Несмотря на то, что в Республике Беларусь, в том числе и на разных витебских станциях подготовки воды потребителю, применяются различные технологические процессы и используются отличающиеся химическим составом коагулянты, флоакулянты, осветители воды, декарбонизаторы, в предыдущих исследованиях, изучен и установлен фазовый состав техногенных продуктов энергетического комплекса. Отходы (шлам водоподготовки) имеют следующий состав, в пересчёте на сухое вещество, масс. %: $Fe_2(OH)_3$ – 12,8–14,2; SiO_2 – 41,9–44,5; $CaSO_4$ – 2,4–2,6; органические вещества – остальное. При исследовании химического состава шламов установлены возможные колебания в содержании основных соединений (%): SiO_2 – 0,5–4,9; $Fe(OH)_3$ – 5,8–10,5; $CaCO_3$ – 62,8–68,2; $CaSiO_3$ – 3,9–6,6; органические вещества – остальное. Колебания состава шлама в узком диапазоне позволяют сделать вывод о достаточной стабильности соотношений слагающих его компонентов [3, 4, 5]. При расширении географии поставок отходов (шлама водоподготовки) придется проводить дополнительные исследования, чтобы учитывать возможное варьирование химического, гранулометрического состава техногенных продуктов, и ввиду этого планируется также в проводимых исследованиях спрогнозировать и выявить устойчивое влияние на технологические, физико-химические, эксплуатационные свойства, место образования шламовых осадков химводоподготовки.

Для производства опытно-экспериментальной партии плитки керамической терракотовой был подготовлен состав керамической массы, включающий следующие компоненты смеси:

– глина порошковая;

– шамот (молотый кирпич);

– шламовые осадки химводоподготовки, в дальнейшем – отходы ХВО;

– вода.

Описание состава смеси:

– глина порошковая (карьер «Заполье») вырабатывается на башенно-распылительной сушилке (БРС) завода для изготовления кирпича методом полусухого формования, влажность 5–18 %, состав и свойства подробно описаны в научной публикации [3];

– шамот – молотый кирпич с фракцией до 5 мм, дробление производится на технологической линии завода, используется как добавка в кирпич, а также для изготовления теннисита, при изготовлении плитки используется для снятия напряжения при сушке изделия, исключаются трещины, сохраняется целостность изделия, состав и свойства подробно описаны в научной публикации [3];

– отходы ХВО представляют собой мелкозернистую порошкообразную массу темно-рыжевого цвета с коричневатым оттенком. В результате проведенных ранее исследований [3, 4, 5] изучены состав и комплексные свойства, в том числе по содержанию тяжелых металлов и радионуклидов. Установлена возможность использования данного вида отходов в производстве керамических строительных материалов и изделий, подробно описано [3, 4, 5];

– применяемая техническая вода должна соответствовать требованиям технических нормативных правовых актов.

В производственной лаборатории ОАО «Обольский керамический завод» проведены исследования гранулометрического состава компонентов смеси. Результаты исследования гранулометрического состава сырья и шамота представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Гранулометрический состав сырья и шамота для изготовления керамической терракотовой плитки

Гранулометрический состав сырья (глина)	Гранулометрический состав шамота
>0,5–0,063 мм – 9,79 %	5–3 мм – 2,5–5 %
0,063–0,01 мм – 25,39 %	3–2 мм – 10–20 %
0,01–0,005 мм – 18,95 %	2–1 мм – 20–40 %
0,005–0,001 мм – 23,32 %	2–0,5 мм – 10–0,5 %
<0,001 мм – 22,55 %	0,5–0,25 мм – 5–20 %
	менее 0,25 мм – 30–14,5 %
	Величина зерен шамота не более 5 мм

Гранулометрический состав техногенного сырья – осадки химводоподготовки (код 8410500):

– 5–3мм – 2,5–7 %;
– 3–2 мм – 10–20 %;
– 2–1 мм – 20–40 %;
– 2–0,5 мм – 0,5–10 %;
– 0,5–0,25 мм – 5–20 %;
– менее 0,25 мм – 13,5–30 %.

В результате проведённых исследований установлено, что гранулометрический состав неорганических отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ позволяет их использовать в качестве замены части компонентов сырья при производстве терракотовой керамической плитки.

Изготовление опытно-экспериментальной партии плитки терракотовой проводилось методом ручной набивки. Приготовление рабочего состава смеси для формовки приводится из расчета на 1 кг глины порошковой и представлено в таблице 2.

Глина порошковая просеивается через сетку проволочную тканую с квадратными ячейками 2-100-025 НУ по ГОСТ 3826-82 с целью исключения карбонатных включений, посторонних примесей. Для приготовления рабочего состава используется глиномешалка, куда из расчета порошковой глины засыпается и шамот, все тщательно перемешивается в сухом виде без добавления воды.

В воду добавляются отходы ХВО, смесь перемешивается и заливается в глиномешалку. Влажность рабочего состава должна составлять 19 % ± 2 %.

Приготовленная смесь выгружается в полипропиленовые герметичные мешки. Дозревание состава – не менее 3 суток, при этом глина окончательно «распушивается», теряя часть влаги, окончательная формовочная масса будет иметь влажность 17 % ± 2 %.

Для получения желаемого изделия первоначально изготавливается кап, из которого переснимается рабочая форма. Кап представляет собой образец готового изделия с учётом степени усадки глины. На процент усадки глины влияет качество глины, процент добавления шамота, температура обжига. В нашем случае усадка равна 5 %. Для изготовления капа и форм использовался гипс Самарского гипсового комбината (гипсовые вяжущие высокопрочные сепарированные марки ГВВС-16 по ТУ 21-РСФСР-153-90).

Перед работой порция глины переминается вручную для окончательного усреднения массы и удаления воздуха. Порционные куски глины закладываются в форму и прессуются руками до полного заполнения (можно прокатывать деревянной скалкой), лишнюю глину, выступающую выше краев формы, срезают длинным широким ножом. Заготовка извлекается из формы и в течение суток подвяливается на ровной поверхности стола.

Для сушки плитки используются поддоны из сетки проволочной тканой с квадратными ячейками 2-800-200 НУ по ГОСТ 3826-82, дальнейшее подсушивание происходит 48 часов на поддонах из сетки при комнатной температуре (обычно стараются выдерживать диапазон 17–21 ^{o}C) с исключением сквозняков. Затем поддоны переносятся в сушилку на стеллажи, где при температурном интервале 22–24 ^{o}C происходит окончательная сушка, остаточная влажность высушенного изделия 3 %.

Высушенные изделия загружаются в печь (мы используем печь камерного типа СНО – 8,16 5/10 ИЗ). Набор температуры 50 ^{o}C через 20 минут до температуры 960 ^{o}C. После обжига печь остывает естественным путем, дверь не открывать, охладить до 50–80 ^{o}C. Выгрузить изделия.

Таблица 2 – Весовое дозирование рабочего состава смеси

Состав	Глина порошковая	Шамот	Отходы ХВО	Вода
Состав 1	1 кг	200 г	5 % – 50 г.	170 г
Состав 2	1 кг	200 г	10 % – 100 г	190 г
Состав 3	1 кг	200 г	15 % – 150 г	210 г

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ, ИХ ОБСУЖДЕНИЕ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ

Керамическая терракотовая плитка обычно изготавливается квадратной или прямоугольной формы, с рельефной или гладкой неглазурованной, глазурованной частично или полностью поверхностью, покрыта одно- или многоцветной глазурью, или декорированной различными методами. Глазурь может быть блестящей или матовой. Предприятие-изготовитель должно устанавливать номинальную длину и ширину плиток таким образом, чтобы в пределах координационных размеров обеспечивалась ширина шва от 4 до 8 мм.

В результате проведённых исследований были определены количественные показатели химических соединений, входящих в разработанные составы. Результаты определений представлены в таблице 3.

Анализ полученных данных показал, что на процесс формования тротуарной плитки оказывает влияние процент вложения отходов, их химический и зерновой состав. С увеличением процента вложения неорганических железосодержащих отходов снижается содержание SiO_2 (с 55,26 до 39,4 масс. % соответственно по составам 1, 2 и 3) и увеличивается содержание FeO (с 12,57 до 15,2 масс. % соответственно). Снижение содержания SiO_2 связано с уменьшением количества исходной глинистой породы и шамота в составе сырья. Увеличение процента вложения отходов приводит также к увеличению содержания CaO. Анализ гранулометрического состава шлама ХВО позволяют сделать вывод о том, что им можно заменить как часть исходного сырья (глины), так и часть отощающей добавки (шамота). Влияние на процесс формования плитки зернового состава заключается в том, что мелкозернистая добавка неорганических отходов, обладая развитой поверхностью, спекаясь с глинистой породой при обжиге, повышает прочность готовых изделий.

Варьируя составами исходного сырья можно, используя шламовые отходы станций обезжелезивания и ТЭЦ, добиваться получения плиток различных цветовых оттенков. Оттенки основного цвета плиток утверждают в виде планшетов, в которых плитки разных оттенков должны быть уложены вперемешку. Эталон на отдельный (разовый) заказ согласовывают с покупателем. По согласованию предприятия-изготовителя с покупателем могут быть изготовлены плитки разных размеров и различных цветовых решений. Цвет (оттенок цвета), рисунок или рельеф лицевой поверхности плиток должен соответствовать утвержденным образцам-эталонам.

Утвержденный образец-эталон цвета (оттенка) может быть распространен на плитки любого вида лицевой поверхности и любых размеров. Для плиток с неповторяющимся рисунком утверждают образец-эталон цвета, при этом рисунок плиток не эталонируют.

Ниже представлены фотографии из опытно-экспериментальных партий терракотовых керамических плиток различных геометрических конфигураций и типом поверхности, изготовленных с использованием шламовых отходов станций обезжелезивания и ТЭЦ. На рисунке 2 представлена фотография квадратной плитки с рельефной неглазурованной поверхностью.

Таблица 3 – Количественные показатели химических соединений, входящих в рабочие составы смеси

Химические соединения состава 1, масс. %	Химические соединения состава 2, масс. %	Химические соединения состава 3, масс. %
Na_2O – 1,47; MgO – 2,26; Al_2O_3 – 14,38; SiO_2 – 48,76; K_2O – 7,31; CaO – 11,61; TiO_2 – 1,63; FeO – 12,57	Na_2O – 1,58; MgO – 2,30; Al_2O_3 – 13,64; SiO_2 – 43,50; K_2O – 7,56; CaO – 16,26; TiO_2 – 1,57; FeO – 14,66	Na_2O – 1,61; MgO – 2,33; Al_2O_3 – 12,65; SiO_2 – 39,40; K_2O – 6,56; CaO – 20,82; TiO_2 – 1,45; FeO – 15,20

Стеклянная дулевская глазурь сначала затирается губкой с разной степенью прикладывания силы в зависимости от подчеркивания желаемого эффекта декорирования. При обжиге рисунок тонировки «поднимается». Ввиду возможности получения широкого ассортимента различных эффектов декорирования обычно варианты поверхности глазурованной плитки согласовывают с покупателем более тщательно. После окончательного согласования цветового решения и эффектов декорирования производится изготовление партии терракотовой керамической плитки в требуемом количестве согласно заказу. На рисунке 3 представлена фотография прямоугольной плитки с рельефной глазурованной поверхностью.

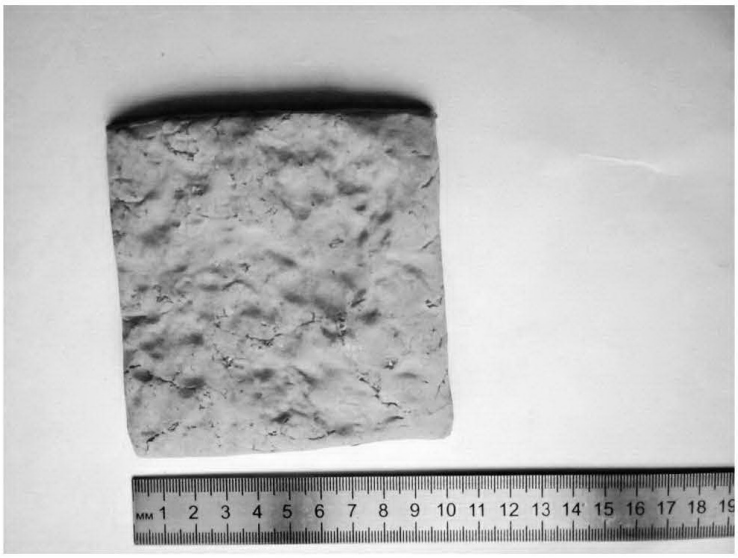


Рисунок 2 – Терракотовая керамическая плитка квадратной формы с рельефной неглазурованной поверхностью

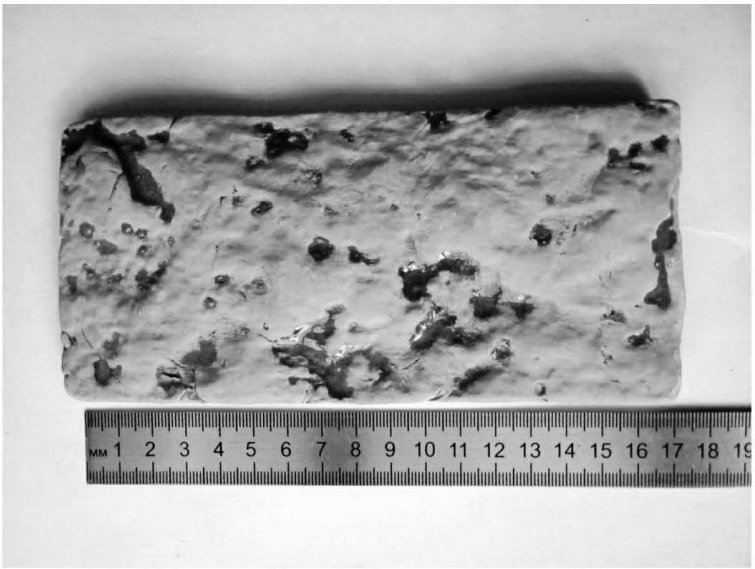


Рисунок 3 – Терракотовая керамическая плитка прямоугольной формы с рельефной глазурованной поверхностью

Проведённые предварительные исследования по замене традиционных отощающих добавок шламовыми осадками химводоподготовки показали, что при использовании этих отходов качество продукции не ухудшается. Дальнейшие исследования опытной партии терракотовой керамической плитки с добавками неорганических отходов будут проведены на испытательном комплексе ОАО «Обольский керамический завод» (морозостойкость, предел прочности, водопоглощение). Предполагается, что на основе проведенных ранее исследований для керамических изделий на примере керамического кирпича [3, 4, 5] введение в состав смеси шламовых осадков химводоподготовки будет способствовать улучшению технологических и эксплуатационных свойств керамической терракотовой плитки. В настоящее время на участке керамики ОАО «Обольский керамический завод» проводятся эксперименты по изучению возможности снижения энергозатрат, за счет снижения температуры при обжиге керамической массы.

Будут проводиться дальнейшие исследования по установлению закономерной зависимости получаемого цветового решения плитки и взаимодействия со стеклянной глазурью от добавляемого количества в керамическую смесь шламовых осадков химводоподготовки.

Результаты выполненной работы имеют практическую значимость. По результатам дальнейших исследований будут разработаны технические условия на производство плитки. Маркетинговой службой ОАО «Обольский керамический завод» проведен дополнительный мониторинг рынка строительных отделочных материалов на предмет применения этих плиток для наружной облицовки стен, стеновых панелей, цоколей зданий и сооружений.

ВЫВОД

В результате проведённых исследований установлена возможность производства на основе глинистого сырья с добавкой техногенных продуктов энергетического комплекса плитки керамической терракотовой. Разработан состав керамической массы для изготовления плитки с добавкой неорганических отходов (осадки химводоподготовки (код 8410500), проведены гранулометрические исследования компонентов смеси и технологический регламент производства плитки. Установлено, что по гранулометрическому составу техногенные продукты энергетического комплекса могут использоваться в качестве добавки в составе сырья для производства плитки. Изготовлена опытно-экспериментальная партия терракотовой керамической плитки для проведения дальнейших исследований физико-химических и физико-механических показателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Логинов, В. Ф. (2016), *Состояние природной среды Беларуси: экологический бюллетень 2015 г.* Минск, 363 с.

2. http://www.minpriroda.gov.by/ru/reestr-ru/ (дата доступа 16.10.2017.).

3. Платонов, А. П., Гречаников, А. В., Ковчур, А. С., Ковчур, С. Г., Манак, П. И. (2015), Изготовления керамического кирпича с использованием промышленных отходов, *Вестник Витебского государственного технологического универси-*

REFERENCES

1. Loginov V. F. (2016), *Sostoyanie prirodnoy sredy Belarusi: ekologicheskiy byulleten' 2015 g.* [Condition of the environment of Belarus: ecological bulletin of 2015]. Minsk, 363 p.

2. Available at: http://www.minpriroda.gov.by/ru/reestr-ru/ (accesed 16 October 2017).

3. Platonov, A., Hrachanikau, A., Kauchur, A., Kauchur, S., Manak, P. (2015), Izgotovleniya keramicheskogo kirpicha s ispolzovaniem promyishlennyih othodov [Manufactures of

тета, 2015, № 28, С.128–134.

4. Платонов, А. П., Трутнёв, А. А., Ковчур, С. Г., Ковчур, А. С., Манак, П. И. (2014), Керамическая масса для производства строительного кирпича, патент 18790 Республики Беларусь, *Афіцыйны бюлетэнь*, 2014, № 11 (182), С. 76.

5. Гречаников, А. В., Ковчур, А. С., Тимонов, И. А., Ковчур, С. Г. (2017), Использование железосодержащих отходов ТЭЦ и станций обезжелезивания для изготовления керамического кирпича, *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F: Строительство. Прикладные науки*, 2017, № 8, С. 47–52.

a ceramic brick with use of the industrial wastes], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state technological university*, 2015, № 28, pp. 128–134.

4. Platonov, A., Trutniov, A., Kauchur, S., Kauchur, A., Manak, P. *Keramicheskaya massa dlya proizvodstva stroitel'nogo kirpicha* [Ceramic weight for production of a structural brick]. Patent RB, № 18790, 2014.

5. Hrachanikau, A., Kauchur, A., Tsimanov, I., Kauchur, S. (2017), Use of a ferriferous wastage of combined heat and power plant and stations of deferrization for manufacture of a ceramic brick, *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya F: Stroitel'stvo. Prikladnye nauki – Bulletin of the Polotsk state university. Series F: Construction. Applied sciences,* 2017, № 7, pp. 47–52.

Статья поступила в редакцию 30. 10. 2017 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕРСЕРИЗОВАННОЙ РИСОВОЙ ШЕЛУХИ В КАЧЕСТВЕ СОРБЕНТОВ ИОНОВ Cd(II), Pb(II) И Sr(II) ИЗ РАСТВОРОВ

EFFECT OF RICE HUSK MERCERIZING ON ITS SORPTION PROPERTIES AFTER REMOVAL OF Cd(II), Pb(II) AND Sr(II) IONS FROM SOLUTIONS

УДК 544.723.21:633.18:64.066

Л.А. Купчик[1]*, В.А. Денисович[1], О.М. Салавор[2], О.В. Ничик[2]

[1] Институт сорбции и проблем эндоэкологии Национальной академии наук Украины

[2] Национальный университет пищевых технологий

L. Kupchik[1]*, V. Denisovich[1], O. Salavor[2], O. Nychyk[2]

[1] Institute of Sorption and Problems of Endoecology, National Academy of Sciences of Ukraine

[2] National University of Food Technologies

РЕФЕРАТ

РИСОВАЯ ШЕЛУХА, МЕРСЕРИЗАЦИЯ, НАБУХАЕМОСТЬ, СОРБЦИЯ, ТОКСИЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Предмет работы – сорбенты на основе отходов переработки риса. Тема работы – получение высокоэффективных сорбентов для очистки сточных вод. Цель работы – разработка способа получения эффективного сорбента ионов токсичных металлов путем мерсеризации рисовой шелухи и изучение сорбционных свойств полученного продукта по отношению к ионам Cd(II), Pb(II) и Sr(II) при их извлечении из водных растворов. Разработан усовершенствованный способ мерсеризации растительных отходов (на примере рисовой шелухи). Исследованы степень набухаемости в воде, статическая ионообменная емкость и величины сорбции ионов токсичных металлов Cd(II), Pb(II) и Sr(II) необработанной и мерсеризованной рисовой шелухой. Показано, что степень набухаемости материала и его сорбционные свойства возрастают с увеличением концентрации щелочи и соотношения «твердая фаза - жидкость».

ABSTRACT

RICE HUSK, MERCERIZING, SWELLING, SORPTION, TOXIC METALS

An improved method of mercerizing plant wastes (with an example of rice husk). The degree of swelling in water, static ion-exchange capacity and sorption activity concerning toxic metals Cd(II), Pb(II) and Sr(II) ions are studied for untreated and mercerized rice husk. It was shown that the degree of swelling of the material and its sorption properties increase along with the increase of alkali concentration and the ratio of solid-liquid phase.

В настоящее время загрязнение окружающей среды ионами токсичных тяжелых металлов представляет техногенную опасность для всей экосистемы. Особенную опасность представляют избыточные концентрации ионов свинца, кадмия, меди, никеля, стронция и пр. Поэтому особенно важным становится процесс оперативного удаления тяжелых металов из сточных вод предприятий [1].

Известно, что наиболее простыми, доступными и эффективными являются сорбционные методы очистки сточных вод [2]. Часто в качестве

* E-mail: *kupchyk@ukr.net* (L. Kupchik)

сорбентов используют дешевые растительные отходы: шроты, шелуху, отруби, опилки и т. п. [3]. Многотоннажные отходы производства риса также могут быть использованы для очистки различных стоков и получения на их основе материалов с высокими сорбционными характеристиками [4].

Для улучшения поглотительной способности растительных отходов и, в частности, рисовой шелухи используют, как правило, термическую ее обработку, целью которой является получение активных углей, как например, в работах [5–7]. Многочисленные способы получения углеродных сорбентов отличаются высокой энергоемкостью, значительными капитальными затратами, низким выходом конечного продукта и высокой его себестоимостью. Кроме того, углеродные сорбенты не обладают повышенной селективностью при сорбции ионов тяжелых металлов.

Известные технологии получения лигно-целлюллозных сорбентов, как правило, основаны на частичном окислении материала под действием сильных минеральных кислот при высокой температуре, последующей щелочной активации, промежуточных многократных промываниях до нейтральной реакции промывочных вод [8–10]. При такой обработке выход целевого продукта составляет 10–30 %, образуется значительное количество продуктов разложения, большие объемы вредных сточных вод, используется дорогое антикоррозионное оборудование.

Поэтому перспективным направлением усовершенствования технологии получения растительных сорбентов нам представляется способ мерсеризации (обработки водным раствором щелочи на холоду) [11]. При этом, регулируя параметры мерсеризации, можно получать материалы с различной сорбционной способностью и селективностью к определенному виду загрязнителей.

Цель настоящей работы – разработка способа получения эффективного сорбента ионов токсичных металлов путем мерсеризации рисовой шелухи и изучение сорбционных свойств полученного продукта по отношению к ионам ***Cd(II)***, ***Pb(II)*** и ***Sr(II)*** при их извлечении из водных растворов.

Известно, что из 1 т неочищенного риса получают около 160 кг рисовой шелухи. Рисовая шелуха представляет собой волокнистое вещество, в составе которого содержатся влага, лигнин, целлюлоза, пентозаны, небольшое количество белка и витаминов, а также кремнезем. В рисовой шелухе органическое вещество составляет около 65–70 %. При его сжигании образуется зола – около 20 %. Зола рисовой лузги состоит в основном из кремнезема с минимальным количеством щелочей и других микроэлементов.

Нами использована рисовая шелуха, отобранная в Херсонской области [12], средний размер частичек 8 мм, содержание: SiO_2 – 18,2 %, целлюлозы – 42,9 %, лигнина – 19,0 %, азотистых веществ – 3,6 %. Мерсеризацию рисовой шелухи проводили водным раствором ***NaOH*** (концентрацией 20–260 г/л) при 10–15°***C*** при различном соотношении «твердая фаза–жидкость (гидромодуле)». Продолжительность мерсеризации 60 мин.

В таблице 1 приведены данные, характеризующие структурно-пористые и ионообменные свойства исходной и обработанной щелочью (концентрацией 120 г/л) рисовой шелухи (при различных гидромодулях обработки).

Таблица 1 – Характеристика свойств исходной и обработанной рисовой шелухи

Гидромодуль	Удельный насыпной вес, г/см³	Степень набухаемости, г/г	Статическая обменная емкость по Na^+, мг-экв/г	Статическая обменная емкость по Cl^-, мг-экв/г	Выход сорбента, %
Исходный материал	0,42	3,2	0,62	0,15	100
1 : 5	0,22	7,6	1,18	0,25	78
1 : 10	0,19	12,8	1,36	0,28	62
1 : 20	0,12	8,5	1,78	0,28	58

Видно, что в результате мерсеризации часть материала переходит в раствор, удельный насыпной вес при этом уменьшается в 2–3 раза; выход готового сорбента составляет 60–70 % от исходного количества сырья и снижается до 60 % лишь в случаях применения максимального гидромодуля.

Результаты титрования сорбентов из рисовой шелухи 0,01н ***HCl*** и 0,1н ***NaOH*** свидетельствуют о довольно высоких величинах статической обменной емкости как по катионам щелочных металлов, так и по анионам хлора. Статическая обменная емкость (***СОЕ***) по катионам Na^+ составляет для необработанной шелухи 0,62 мг-экв/г, что свидетельствует о наличии в продукте протогенных групп, скорее всего спиртового типа. В результате мерсеризации шелухи ***СОЕ*** материала увеличивается как по анионам Cl^-, так и по катионам Na^+, что создает предпосылки для усиления его сорбционной активности к ионообменной и комплексообразующей сорбции многозарядных катионов переходных и тяжелых металлов: ***Pb(II)***, ***Cd(II)***, ***Sr(II)***.

На рисунке 1 представлены данные, характеризующие степень набухания рисовой шелухи в зависимости от концентрации раствора щелочи, определенную весовым способом и рассчитанную по уравнению

$$g = \frac{B \times (100 - C_o) - (B - H) \times (100 - C)}{100 \times m}, \qquad (1)$$

где ***B*** – количество раствора щелочи, взятой для опыта, ***г***; ***H*** – количество раствора щелочи, поглощенной сорбентом, ***г***; C_o и ***C*** – концентрация щелочи в исходном и равновесном растворе, ***г/л***, ***m*** – навеска сухого сорбента, ***г***.

При обработке рисовой шелухи щелочью наблюдали частичный переход в раствор низкомолекулярных фракций полисахаридов, структурный каркас лигно-целлюлозной матрицы при этом, в основном, сохраняется, а его способность к набуханию в воде – возростает. Как видно из рисунка 1, степень набухаемости материала возрастает с увеличением концентрации щелочи и ростом соотношения «твердая фаза–жидкость».

Это, скорее всего, является результатом увеличения количества гидрофильных групп (карбоксильных и спиртовых) на поверхности материала и улучшения его сорбционно-пористой структуры за счет «разрыхления» растительных волокон и увеличения доступа к функциональным группам, способных к реакциям присоединения, комплексообразования и ионного обмена. Содержание функциональных групп на поверхности мерсеризованной рисовой шелухи (при гидромодуле 1:10 и исходной концентрации щелочи 10 %), определенных по методике [13], составило: метоксильных групп – 3,2 %; ацетильных – 2,4 %; карбоксильных (общее) – 5,4 %; гидроксильных (общее) – 5,0 % .

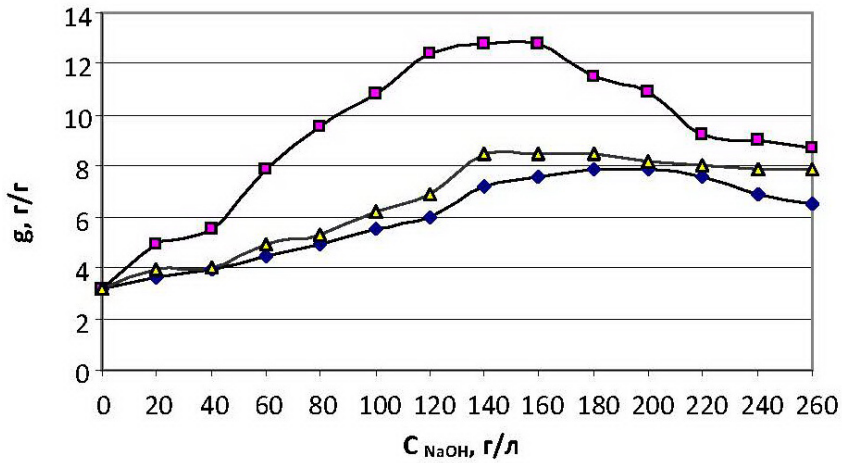


*Рисунок 1 – Зависимость набухаемости рисовой шелухи (**g**,* г/г) *от исходной концентрации щелочи (**C**,* г/л) *и соотношения* «твердая фаза–жидкость»*: ♦ - 1:5; ▲ - 1:10; ▪ - 1:20*

Исследование процесса сорбции ионов токсичных тяжелых металлов нативной и мерсеризованной рисовой шелухой осуществляли в статических условиях из водных растворов солей: хлоридов свинца, кадмия и стронция. Методика сорбционных опытов была следующей: серию колб с навесками сорбента 0,2 г заливали 0,03 л модельного раствора с начальной концентрацией 2,5 ммоль/л, выдерживали на шейкере от 5 до 100 мин при температуре 20 ^0C. Через 4 часа растворы фильтровали и определяли в фильтрате равновесную концентрацию ионов металла методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе КАС-120М («SELMI», Украина).

Количество сорбированного металла (A, мг/г) рассчитывали по формуле

$$A = \frac{(C_0 - C_p) \times V}{m \times 1000}, \qquad (2)$$

где C_0, C_p – исходная и равновесная концентрация (мг/мл); V – объем раствора (мл); m – масса навески сорбента (г).

На рисунке 2 приведены изотермы сорбции ионов $Cd(II)$, $Pb(II)$ и $Sr(II)$ из водных растворов соответствующих солей исходной и мерсеризованной рисовой шелухой.

Результаты исследований показывают, что мерсеризация шелухи существенно изменяет состав и ионообменные свойства полученных образцов, влияя на их сорбционную способность. Сорбент, полученный в результате мерсеризации рисовой шелухи, обладает более высокой сорбционной емкостью по отношению ко всем извлекаемым ионам металлов в сравнении с исходным растительным материалом. По виду зависимости $A = f(C_p)$ (рисунок 2 *б*) можно судить о том, что изотермы сорбции на мерсеризованном образце практически для всех ионов относятся к H-типу по классификации Гильса, что свидетельствует о более сильном взаимодействии извлекаемого компонента с сорбентом. Изотермы адсорбции на исходном образце рисовой шелухи относятся к L-типу, то есть в данном случае превалирует взаимодействие сорбата с растворителем. Такое различие в поведении сорбентов в растворе можно объяснить тем, что в результате мерсеризации удельная поверхность материала увеличилась и появились активные функциональные группы, способные к ионному обмену, комплексообразованию и физической адсорбции.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили усовершенствовать способ мерсеризации лигноцеллюлозных растительных отходов (на примере рисовой шелухи) и определить, что оптимальны-

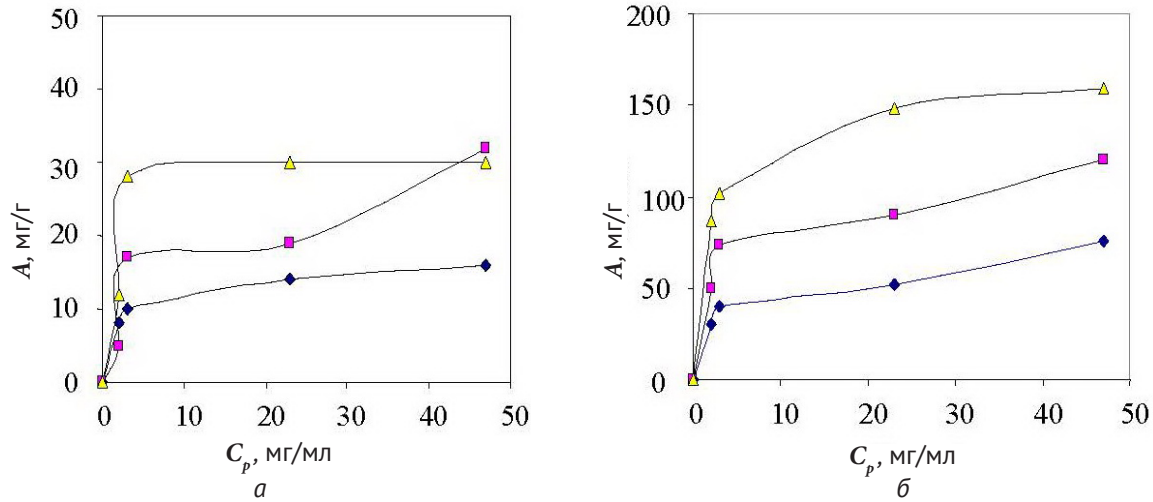


Рисунок 2 – Изотермы сорбции ионов тяжелых металлов исходной (а) и мерсеризованной (б) рисовой шелухой: ▲- Pb(II); ▪ - Cd(II); ♦ - Sr(II)

ми условиями мерсеризации является гидромодуль 10 при исходной концентрации щелочи 120 г/л.

Исследованы степень набухаемости в воде, статическая ионообменная емкость и величины сорбции ионов токсичных металлов ***Cd(II)***, ***Pb(II)*** и ***Sr(II)*** необработанной и мерсеризованной рисовой шелухой. Показано, что обработка рисовой шелухи щелочью на холоде позволяет в 3–5 раз увеличить их сорбционную способность по отношению к ионам токсичних тяжелых металлов.

Полученные результаты, с учетом дешевизны и доступности сырьевой базы, позволяют обосновано подходить к решению конкретних практических задач, связанных с получением эффективных сорбентов для очистки сточных вод от ионов токсичних металлов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хенце, М. (2006), *Очистка сточных вод*, Москва, Мир, 480 с.

2. Когановский, М. А. (1983), *Адсорбция и ионный обмен в процессах водоподготовки и очистки сточных вод*, Киев, 239 с.

3. Картель, Н. Т., Купчик, Л. А., Николайчук, А. А. (2007), Синтез и свойства биосорбентов, полученных на основе целлюлозно-лигнинового растительного сырья – отходов агропромышленного комплекса, *Сорбционные и хроматографические процессы,* 2007, т. 7, вып. 3, С. 489-498.

4. Шевелева, И. В., Холомейдик, А. Н., Войт, А. В. (2009) Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) из растворов, *Химия растительного сырья*, 2009, № 4, С. 171–176.

5. Стрелко, В. В., Зажигалов, В. А., Ставицкая, С. С., Бакалинская, О. Н., Бортун, А. И. (2008), *Селективная сорбция и катализ на активных углях и неорганических ионитах: монография НАН Украины*, Київ, Наукова думка, 303 с.

6. Олонцев, В. Ф. (2005), *Активные угли (получение и применение)*, Пермь, ГУ Пермский центр научно-технической информации, 88 с.

7. Ставицкая, С. С., Картель, Н. Т., Стрелко, В. В. (2008), Влияние степени окисления активных углей на

REFERENCES

1. Henze, M. (2006), Wastewater Treatment [Ochistka stochnykh vod], Moscow, Mir, 480 p.

2. Koganovskiy, M. A. (1983), Adsorption and ion exchange in the processes of water treatment and wastewater treatment [Adsorbtsiya i ionnyy obmen v protsessakh vodopodgotovki i ochistki stochnykh vod], Kiev, 239 p.

3. Cartel, N. T., Kupchik, L. A,. Nikolaychuk, A. A. (2007), Synthesis and properties of biosorbents obtained on the basis of cellulose-lignin plant material - agro-industrial waste [Sintez i svoystva biosorbentov, poluchennykh na osnove tsellyulozno-ligninovogo rastitel'nogo syr'ya – otkhodov agropromyshlennogo kompleksa], *Sorption and chromatographic processes*, 2007, vol. 7, vol. 3, P. 489–498.

4. Sheveleva, I. V., Holomeydik, A. N., Vojt, A. V. (2009), Sorbents based on rice husk to remove Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) ions from solutions [orbenty na osnove risovoy shelukhi dlya udaleniya ionov Fe(III), Cu(II), Cd(II), Pb(II) iz rastvorov], *Chemistry of plant raw materials*, 2009, № 4, p. 171–176.

5. Strelko, V. V. , Zazhigalov, V. A., Stavitskaya, S. S., Bakalinskaya, O. N., Bortun, A. I. (2008), Selective sorption and catalysis on active coals and inorganic ion exchangers [Selektivnaya sorbtsiya i kataliz na aktivnykh uglyakh i neorganicheskikh ionitakh]: *monograph of NAS of Ukraine*, Kyiv, Naukova Dumka, 303 p.

свойства и селективность сорбции ионов металлов, *Экотехнологии и ресурсосбережение*, 2008, №3, С. 27–35.

8. Далимова, Г. Н., Штырлов, П. Ю., Якубова, М. Р. (1998), Сорбция ионов металлов техническими лигнинами и их производными, *Химия природных соединений*, 1998, № 3, С. 362–363.

9. Купчик, Л. А., Торгонська, С. А., Николайчук, А. А. (2011), Способ получения и сорбционные свойства лигнифицированной шелухи подсолнечника, *Энерготехнологии и ресурсосбережение*, 2011, № 4, С.58–62.

10. Быков, Г. Л., Ершов, Б. Г. (2010), Сорбент на основе фосфорилированного линина, *Журнал прикладной химии*, 2010, т. 83, № 2, С. 317–320.

11. Гравитис, Я. А., Эриньш, П. П., Столдере, И. А., Зелерте, Х. Ю. (1976), Кинетика щелочного гидролиза сложно-эфирных связей в древесине, *Химия древесины*, 1976, № 1, С. 21–28.

12. ДСТУ 67.060 Шелуха рисовая (ГОСТ 6292-93).

13. Шарков, В. И., Куйбина, Н. И., Соловьева, Ю. П. (1968), Количественный химический анализ растительного сырья, Москва, *Лесная промышленность*, 60 с.

6. Olontsev, V. F. (2005), Active coals (receipt and application) [Aktivnyye ugli (polucheniye i primeneniye)], Perm, Perm Center for Scientific and Technical Information, 88 p.

7. Stavitskaya, S. S., Cartel, N. T. , Strelko, V. V. (2008), Influence of the degree of oxidation of active carbons on the properties and selectivity of sorption of metal ions [liyaniye stepeni okisleniya aktivnykh ugley na svoystva i selektivnost' sorbtsii ionov metal lov], *Ecotechnology and Resource Saving*, 2008, № 3, P. 27–35.

8. Dalimova, G. N., Shtyrlov, P. Yu., Yakubova, M. R. (1998), Sorption of metal ions by technical lignins and their derivatives [Sorbtsiya ionov metallov tekhnicheskimi ligninami i ikh proizvodnymi], *Chemistry of Natural Compounds*, 1998, № 3, pp. 362–363.

9. Kupchik, L. A., Torgonska, S. A., Nikolaychuk, A. A. (2011), Method of production and sorption properties of lignified sunflower husks [Sposob polucheniya i sorbtsionnyye svoystva lignifitsirovannoy shelukhi podsolnechnika], *Energy Technology and Resource Saving*, 2011, № 4, P. 58–62.

10. Bykov, G. L., Ershov, B. G. (2010), Sorbent on the basis of phosphorylated linin [Sorbent na osnove fosforilirovannogo linina], *Journal of Applied Chemistry,* 2010, v. 83, № 2, p. 317–320.

11. Gravitis, J. A., Erins, P. P., Stolder, I. A., Zehlerte, H. Yu. (1976), Kinetics of alkaline hydrolysis of ester bonds in wood [Kinetika shchelochnogo gidroliza slozhno-efirnykh svyazey v drevesine], *Timber Chemistry,* 1976, № 1, pp. 21–28.

12. DSTU 67.060 Rice husk (GOST 6292-93).

13. Sharkov, V. I., Kuibina, N. I., Solovyov, Yu. P. (1968), Quantitative chemical analysis of plant raw materials, Moscow, Timber Industry, 60 p.

Статья поступила в редакцию 01. 08. 2017 г.

КОНТРОЛЬ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СОКОСОДЕРЖАЩЕЙ ПРОДУКЦИИ

CONTROL OF HEAVY METALS IN JUICE PRODUCTS

УДК 543.253

Н.П. Матвейко*, А.М. Брайкова, С.К. Протасов, В.В. Садовский
Белорусский государственный экономический университет

M. Matveika*, A. Braikova, S. Pratasau, V. Sadovski
Belarusian State Economic University

РЕФЕРАТ

СОКИ, НЕКТАРЫ, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ, ИНВЕРСИОННАЯ ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЯ

Цель работы – определить содержание тяжелых металлов Zn, Cd, Pb, Cu и Hg в соках и нектарах без минерализации проб методом инверсионной вольтамперометрии.

Установлено, что во всех десяти изученных образцах соков и нектаров содержатся Pb и Cu, причем в образце сока вишневого № 1 отмечается незначительное превышение допустимого уровня свинца, нормируемого ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52.

Цинк обнаружен в шести, ртуть в семи, а кадмий в восьми из десяти изученных образцов соков и нектаров. Содержание Cd и Hg не превышает допустимого уровня, регламентируемого ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52, а содержание Zn лишь в образце № 9 (сок гранатовый) незначительно выше допустимого уровня.

Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что инверсионно-вольтамперометрический анализ соков и нектаров можно выполнять без длительной подготовки проб мокрой минерализацией.

ABSTRACT

JUICES, NECTARS, HEAVY METALS, VOLTAMMETRY

The aim of this work was to determine the content of heavy metals Zn, Cd, Pb, Cu and Hg in juices and nectars without mineralization of the samples by Stripping voltammetry method.

It was found that all 10 investigated samples of juices and nectars contained Pb and Cu, and the sample juice cherry No. 1, a slight excess of the allowdirect lead levels, normalized TR TS 021/2011 and SanPiN No. 52.

Zinc is found in samples 6, 7; mercury, and cadmium in sample 8 of 10 studied samples of juices and nectars. The content of Cd and Hg does not exceed the permissible level regulated by TR CU 021/2011 and SanPiN No. 52, and the content of Zn only in sample 9 (pomegranate juice) is slightly above the acceptable level.

The obtained results indicate that the inversion-voltammetric analysis of juices and nectars can be performed without lengthy sample preparation wet mineralization.

К сокосодержащей продукции относят соки, нектары и некоторые напитки [1, 2]. Сок – продукт, состоящий на 100 % из веществ, полученных после отжима свежих спелых фруктов или овощей или из концентрированного сока [1]. Он не должен содержать в своем составе консерванты, искусственные ароматизаторы и другие добавки. В нектарах содержание сока составляет от 25 до 99 %. Кроме того, в них, как правило, содержится вода, сахар и лимонная кислота. Допускается добавление в нектары консервантов и искусственных ароматизаторов. В отличие от соков и нектаров в напитках содержание сока не превышает 25 %. Кроме того, в состав напитков входят красители, ароматизаторы, лимонная кислота и консерванты [1].

* E-mail: *matveiko_np@mail.ru* (M. Matveika)

Соки и нектары – это вкусные освежающие напитки. Имеют практически все положительные качества свежих фруктов и овощей. Они являются источником витаминов и многих питательных веществ. Эти продукты полезны взрослым и детям, пользуются большой популярностью у потребителей, пригодны для ежедневного дополнения питания [2].

Цель работы – определить содержание тяжелых металлов ***Zn***, ***Cd***, ***Pb***, ***Cu*** и ***Hg*** в соках и нектарах без минерализации проб методом инверсионной вольтамперометрии.

Ассортимент сокосодержащей продукции широко представлен торговой сетью Республики Беларусь. Соки и нектары подлежат обязательному подтверждению соответствия требованиям технических нормативных правовых актов (ТНПА). Основными ТНПА являются Технический регламент таможенного союза ТР ТС 023/2011 [3], СТБ 1824 [4], СТБ 829 [5], СанПиН № 52 [6]. Согласно этим документам в соках и нектарах нормируются такие показатели, как содержание нитратов, содержание радионуклидов, pH, массовая доля титруемых кислот. Однако важнейшими показателями безопасности соков и нектаров являются содержание токсичных элементов и микроэлементов. В таблице 1 приведены допустимые уровни содержания токсичных элементов, регламентируемые в соках и нектарах техническими нормативными правовыми актами.

Из таблицы 1 видно, что технический регламент таможенного союза ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52 не нормируют содержание в соках и нектарах меди, цинка и железа, в то время как стандартами Республики Беларусь СТБ 1824 и СТБ 829 содержание этих металлов нормируется. Кроме того, допустимые уровни содержания мышьяка, свинца, ртути и кадмия, нормируемые ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52 выше, чем уровни содержания этих металлов нормируемые СТБ 1824 и СТБ 829.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Все необходимые для исследований растворы готовили на основе бидистиллята (дважды перегнанной дистиллированной воды) с использованием реактивов марки «ХЧ».

Значения потенциалов индикаторных электродов измеряли относительно хлорсеребряного электрода сравнения в водном растворе хлорида калия концентрацией 1 моль/дм^3.

В качестве объектов исследования случайным образом выбраны 10 образцов сокосодер-

Таблица 1 – Допустимые уровни содержания токсичных элементов в соках и нектарах

Наименование показателя	Допустимые уровни, мг/кг, не более			
	ТР ТС 021/2011	СТБ 1824	СТБ 829	СанПиН № 52
Мышьяк	0,2	0,1	0,1	0,2
Свинец	0,4	0,05*)	0,05	0,4***)
Медь	–	5,0	5,0	–
Цинк	–	5,0	5,0	–
Железо	–	5,0**)	7,0	–
Ртуть	0,02	0,01	0,01	0,02
Кадмий	0,03	0,02	0,02	0,03

Примечания:

**) Содержание свинца в соках из брусники, вишни, голубики, ежевики, земляники (клубники), клюквы, красной смородины, малины, рябины, черники, черноплодной рябины, черной смородины, а также купажированных с их применением, допускается не более 0,4 мг/кг;*

***) Содержание железа в соках из брусники, вишни, голубики, ежевики, земляники (клубники), клюквы, красной смородины, малины, рябины, черники, черноплодной рябины, черной смородины, а также купажированных с их применением, допускается не более 15 мг/кг;*

****) Содержание свинца в овощных соках допускается не более 0,5 мг/кг.*

жащей продукции, реализуемой торговой сетью г. Минска. Номера исследованных образцов сокосодержащей продукции, их названия и краткие сведения о составе приведены ниже:

№ 1. Сок вишневый концентрированный 100 %, содержит сахар и лимонную кислоту.

№ 2. Нектар из яблок, черноплодной рябины и малины с содержанием соков 40 %.

№ 3. Нектар яблочный для детского питания с содержанием лимонной кислоты и сока 40 %.

№ 4. Нектар яблочно-виноградный для детского питания с содержанием лимонной кислоты и соков 40 %.

№ 5. Яблочно-вишневый напиток с содержанием ароматизатора «Вишня», аскорбиновой кислоты, сахара и соков 15 %.

№ 6. Сок апельсиновый для детского питания концентрированный 100 %.

№ 7. Нектар персик-яблоко для детского питания с содержанием лимонной кислоты, сахара и соков 45 %.

№ 8. Нектар из яблок и голубики с содержанием сахара и соков с пюре 50 %.

№ 9. Сок гранатовый концентрированный 100 %, содержание сахара не более 1,5 %.

№ 10. Сок грейпфрутовый концентрированный 10 % без сахара.

Видно, что образцы № 1, 6, 9, 10 относятся к сокам концентрированным, образцы №№ 2–4, 7, 8 являются нектарами, содержащими 40–50 % сока, а образец № 5 представляет собой напиток, содержащий только 15 % сока.

Анализ образцов соков и нектаров на содержание в них ***Zn***, ***Cd***, ***Pb*** и ***Cu*** проводили инверсионной вольтамперометрией с помощью анализатора марки АВА-3 («Буревестник», г. Санкт-Петербург) на вращающемся углеситалловом индикаторном электроде в трехэлектродной ячейке на фоне 0,35 М водного раствора муравьиной кислоты, содержащем 50 мг/дм^3 ртути. Вспомогательным электродом служила платиновая проволока. Предварительными исследованиями установлены следующие условия проведения анализа. Регенерация индикаторного электрода при потенциале +450 мВ в течение 20 с; накопление металлов при потенциале –1400 мВ в течение 60 с; успокоение раствора при потенциале –1350 мВ в течение 10 с; развёртка потенциала со скоростью 500 мВ/с в интервале потенциалов от –1350 мВ до +450 мВ. При этом вначале снимали анодную вольтамперную кривую в растворе фонового электролита, затем в ячейку вводили пробу сока или нектара объемом 0,2 см^3 и снимали кривую в растворе, содержащем эту пробу. После этого в ячейку вводили 0,2 см^3 стандартного раствора, содержащего 3 мг/дм^3 ***Zn*** и по 2 мг/дм^3 ***Cd***, ***Pb***, ***Cu*** и снова регистрировали анодную вольтамперную кривую.

Определение ***Hg*** в образцах соков и нектаров проводили в соответствии с методикой, изложенной в работе [8], применяя вольтамперометрический анализатор марки ТА–4 («Томьаналит», г. Томск) на фоне, содержащем 0,024 моль/дм^3 H_2SO_4 и 0,003 моль/ дм^3 ***KCl.*** В качестве индикаторного электрода применяли проволоку из сплава золота 583 пробы. Вспомогательным электродом и электродом сравнения служил хлорсеребряный электрод в 1 М растворе хлорида калия. Подготовку проб проводили растворением 0,3 см^3 сока или нектара в 10 см^3 бидистиллята. Для анализа из полученного раствора отбирали аликвоту объемом 0,1 см^3. Оптимальными условиями проведения анализа, как было установлено предварительными экспериментами, оказались следующие. Очистка индикаторного электрода проводилась при потенциале +600 мВ в течение 20 с. Накопление ртути – при потенциале –600 мВ в течение 80 с. Успокоение раствора – при потенциале –385 мВ в течение 15 с. Регистрацию анодной вольтамперной кривой – при скорости изменения потенциала в интервале потенциалов от –380 мВ до + 585 мВ.

Как и при определении ***Zn***, ***Cd***, ***Pb*** и ***Cu***, анализ соков и нектаров на содержание ***Hg*** проводили в следующей последовательности. Вначале снимали анодную вольтамперную кривую в растворе фонового электролита, затем в ячейку вводили пробу раствора сока или нектара объемом 0,1 см^3, после чего регистрировали кривую в растворе, содержащем эту пробу. Затем в ячейку вводили 0,1 см^3 стандартного раствора, содержащего 1 мг/дм^3 ***Hg***, и снова регистрировали анодную вольтамперную кривую.

Содержание тяжелых металлов в пробах образцов соков и нектаров рассчитывали по разности вольтамперных кривых пробы и фона, а

также пробы с добавкой стандартного раствора и фона.

Анализ каждой пробы на содержание ***Zn***, ***Cd***, ***Pb***, ***Cu*** и ***Hg*** выполняли по 3 раза. Результаты исследований обрабатывали методом математической статистики согласно методике изложенной в работе [9]. Рассчитывали относительные стандартные отклонения (***Sr***) и интервальные значения (±***Δx***) содержания ***Zn***, ***Cd***, ***Pb***, ***Cu*** и ***Hg*** в соках и нектарах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Пример анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных при определении содержания ***Zn***, ***Cd***, ***Pb*** и ***Cu*** в пробе нектара персик яблоко (образец № 7), представлен на рисунке 1.

Из рисунка видно, что на вольтамперной кривой разности анодных кривых пробы нектара и фонового электролита (кривая 1) имеются максимумы тока окисления при потенциалах: –1,08 В и 0,04 В, которые свидетельствуют о том, что в образце нектара персик яблоко (образец № 7) присутствуют цинк и медь соответственно. На кривой 1 наблюдается также возрастание тока окисления в интервалах потенциалов –0,70 ÷ –0,60 В и –0,50 ÷ –0,44 В. Это указывает на то, что в образце нектара № 7 в небольших количествах содержатся кадмий и свинец. После добавления к пробе нектара персик яблоко стандартного раствора, содержащего цинк, кадмий, свинец и медь, токи окисления металлов увеличиваются (кривая 2), что обусловлено увеличением концентрации этих металлов в исследуемом растворе электролита.

Аналогичный характер изменения кривых разности анодных вольтамперных кривых, зарегистрированных в растворе пробы и фонового электролита, а также в растворе пробы с добавкой стандартного раствора, содержащего цинк, кадмий, свинец и медь, и фонового электролита наблюдается для всех исследованных образцов соков и нектаров.

На основании полученных для всех образцов соков и нектаров вольтамперных кривых рассчитано содержание ***Zn***, ***Cd***, ***Pb*** и ***Cu***. Результаты приведены в таблице 2.

На рисунке 2 представлены анодные вольтамперные кривые, зарегистрированные при анализе пробы сока вишневого (образец № 1) на содержание ртути. Анализ этих кривых показывает, что на вольтамперной кривой, зарегистрированной в водном растворе фонового электролита (кривая 1), практически не наблюдаются токи окисления, что свидетель-

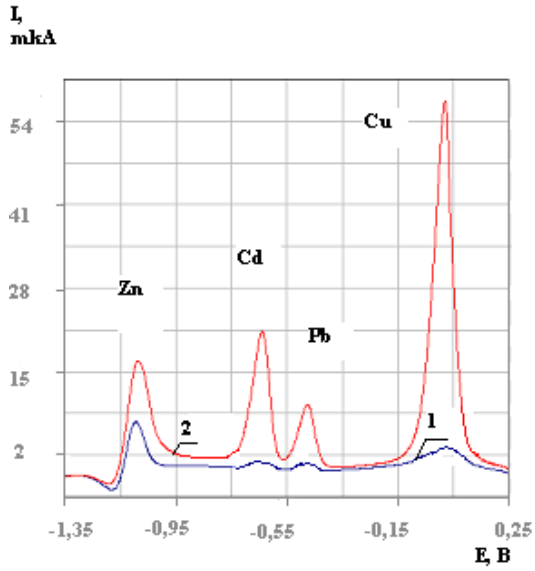


*Рисунок 1 – Кривая разности анодных вольтамперных кривых пробы нектара персик яблоко (образец № 7) и фонового электролита – 1; кривая разности анодных вольтамперных кривых пробы нектара персик яблоко с добавкой стандартного раствора, содержащего **Zn**, **Cd**, **Pb**, **Cu** и фонового электролита – 2*

ствует об отсутствии в растворе ртути. На анодной вольтамперной кривой 2, полученной в растворе пробы сока вишневого (образец № 1), имеется хорошо выраженный максимум тока в интервале потенциалов 0,44 ÷ 0,51 В, который обусловлен окислением сконцентрированной на индикаторном электроде ртути. В растворе пробы сока вишневого с добавкой стандартного раствора ртути, как видно из рисунка 2 (кривая 3), максимум тока в области потенциалов 0,42 ÷ 0,53В возрастает, что связано с увеличением концентрации ртути в исследуемом растворе. Схожий вид анодных вольтамперных кривых наблюдается при выполнении анализа на содержание ртути других изученных образцов соков и нектаров.

На основании инверсионно-вольтамперометрических исследований по разности анодных вольтамперных кривых пробы и фона, пробы с добавкой стандартного раствора и фона, используя специализированную компьютерную программу «VALabTx», рассчитано содержание ртути во всех изученных образцах соков и нектаров. Результаты расчетов представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что во всех изученных образцах соков и нектаров содержатся свинец и медь. Наибольшее содержание свинца наблюдается для образца сока вишневого № 1 и составляет 0,42 мг/дм^3, что незначительно превышает допустимый уровень, нормируемый ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52 (таблица 1). Менее всего свинца обнаружено в образце № 10 (сок грейпфрутовый) – 0,002 мг/дм^3. Содержание свинца в других изученных образцах соков и нектаров не превышает допустимого уровня (0,40 мг/дм3).

Что касается меди, то содержание этого микроэлемента в изученных образцах соков и нектаров невелико и колеблется от 0,01 мг/дм^3 для образца № 10 (сок грейпфрутовый) до 0,46 мг/дм^3 для образца № 2 (нектар из яблок, черноплодной рябины и малины).

Как видно из таблицы, цинк присутствует в 6 из 10 изученных образцах соков и нектаров. Не обнаружен этот микроэлемент в образцах № 1, 3, 4, 6. Наибольшее содержание цинка характерно для образца № 9 (сок гранатовый) и составляет 5,1 мг/дм^3, наименьше – для образца № 10 (сок грейпфрутовый) – 0,2 мг/дм^3.

Токсичный элемент кадмий в количествах, не превышающих допустимые уровни, регламентируемые ТНПА, присутствует в 8 из 10 изученных образцах соков нектаров – от 0,002 мг/дм^3 в образце № 6 (сок апельсиновый) до 0,01 мг/дм^3 в образцах № 2 и 3 (нектар из яблок, черноплодной рябины и малины и нектар яблочный).

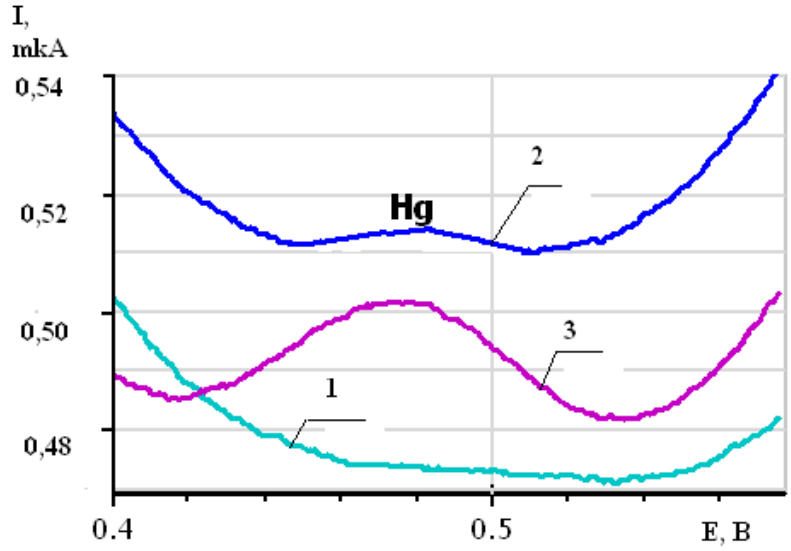


Рисунок 2 – Анодные вольтамперные кривые: 1 – фонового электролита; 2 – пробы образца сока вишневого (образец № 1); 3 – пробы образца сока вишневого с добавкой стандартного раствора, содержащего ***Hg***

*Таблица 2 – Содержание **Zn, Cd, Pb, Cu** и **Hg** в образцах соков и нектаров*

№ образца сокосодержащей продукции	Содержание металла									
	Zn, мг/дм³	***Sr***, %	***Cd***, мг/дм³ × 10⁻²	***Sr***, %	***Pb***, мг/дм³ × 10⁻²	***Sr***, %	***Cu***, мг/дм³ × 10⁻²	***Sr***, %	***Hg***, мг/дм³ × 10⁻²	***Sr***, %
1	нет	–	нет	–	42,00 ± 2,50	3,24	4,80 ± 0,43	4,87	1,40 ± 0,13	5,05
2	3,90 ± 0,10	1,39	1,00 ± 0,10	5,43	36,00 ± 2,10	3,17	46,00 ± 3,40	4,01	1,10 ± 0,10	4,94
3	нет	–	1,00 ± 0,10	5,43	3,00 ± 0,26	4,71	26,00 ± 2,40	5,02	2,00 ± 0,02	5,44
4	нет	–	нет	–	27,00 ± 1,70	3,42	21,00 ± 1,80	4,66	1,80 ± 0,17	5,13
5	0,53 ± 0,03	3,07	0,70 ± 0,08	6,21	1,00 ± 0,11	5,98	8,50 ± 0,94	6,01	нет	–
6	нет	–	0,20 ± 0,02	5,44	2,00 ± 0,18	4,89	9,40 ± 0,98	4,63	0,50 ± 0,06	6,52
7	3,50 ± 0,09	1,40	0,40 ± 0,05	6,79	1,00 ± 0,10	5,45	2,20 ± 0,23	5,68	0,40 ± 0,04	5,44
8	1,70 ± 0,07	2,24	0,50 ± 0,05	5,45	1,00 ± 0,11	5,98	6,30 ± 0,70	6,04	нет	–
9	5,10 ± 0,14	1,49	0,30 ± 0,03	5,45	23,00 ± 1,50	3,54	4,50 ± 0,48	5,80	нет	–
10	0,20 ± 0,02	5,43	0,40 ± 0,05	6,79	0,20 ± 0,17	4,62	1,20 ± 0,14	6,34	нет	–

Из таблицы 2 также видно, что в образцах соков и нектаров № 5, 8 и 9 не обнаружена ртуть. В других изученных образцах соков и нектаров содержание ртути составляет от 0,002 мг/дм³ для образца № 3 (нектар яблочный) до 0,018 мг/дм³ для образца № 4 (нектар яблочно-виноградный), что не превышает допустимого уровня, регламентируемого ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52 (таблица 1).

ВЫВОДЫ

1. Во всех изученных образцах соков и нектаров содержатся ***Pb*** и ***Cu***, причем в образце сока вишневого № 1 отмечается незначительное превышение допустимого уровня свинца, нормируемого ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52.

2. Цинк обнаружен в 6, ртуть в 7, а кадмий в 8 из 10 изученных образцах соков и нектаров. Причем содержание кадмия и ртути не превышает допустимого уровня регламентируемого ТР ТС 021/2011 и СанПиН № 52, а содержание цинка лишь в образце № 9 (сок гранатовый) незначительно выше допустимого уровня.

3. Полученные в работе результаты свидетельствуют о том, что инверсионно-вольтамперометрический анализ соков и нектаров можно выполнять без подготовки проб мокрой минерализацией, требующей значительных затрат энергии и времени.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Матвейко, Н. П., Протасов, С. К., Садовский, В. В. (2015), Определение тяжелых металлов в соках и нектарах, *Пиво и напитки*, 2015, № 4, С. 56–59.

2. Соки, нектары, напитки: в чем разница? [Электронный ресурс] (2017), Режим доступа: http://www.poedim.ru/content/1171-soki-nektary-napitki-v-chem-raznica (Дата доступа:

REFERENCES

1. Matveika, M., Pratasau, S., Sadovski, V. (2015), Determination of heavy metals in juices and nec-tars [Opredelenie tjazhelyh metallov v sokah i nektarah], *Pivo i napitki – Beer and drinks*, 2015, № 4, pp. 56–59.

2. Soki, nektary, napitki: v chem raznica? [Juices, nectars, drinks: what's the difference?], (2017), available at: http://www.poedim.ru/content/1171-soki-nektary-napitki-v-chem-

15.03.2017).

3. Сок или нектар? (польза и вред сока) [Электронный ресурс] (2017), Режим доступа: http://www.vitamarg.cjm/health/article/344-sok-ili-nektar (Дата доступа: 15.03.2017).

4. О безопасности пищевой продукции: ТР ТС 021/2011. Утвержден решением Комиссии таможенного союза от 23.09.2011 г. № 799, 255 с.

5. Консервы. Соки фруктовые восстановленные. Общие технические условия. СТБ 1824–2008, Введ. 21.01.2008, Минск, Госстандарт, 2008, 18 с.

6. Консервы. Соки, нектары и сокосодержащие напитки овощные, овощефруктовые и фрук-то-во-овощные. Общие технические условия. СТБ 829–2008, Введ. 21.01.2008, Минск, Госстандарт, 2008, 21 с.

7. Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам, Пост. Министерства здравоохранения Республики Беларусь. 21.07.2013, № 52, 371 с.

8. Матвейко, Н. П., Брайкова, А. М., Садовский, В. В. (2016), Определение тяжелых металлов в сахарозе инверсионной вольтамперометрией, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2016, № 31, С. 84–90.

9. Васильев, В. П. (2004), *Аналитическая химия: в 2 ч,* Москва, Дрофа, Ч. 1, С. 122.

raznica (accessed 15.03.2017).

3. Sok ili nektar? (pol'za i vred soka) [Juice or nectar? (the benefits and harms of juice)], (2017), available at: http://www.vitamarg.cjm/health/article/344-sok-ili-nektar (accessed 15.03.2017).

4. O bezopasnosti pishhevoj produkcii [On safety of food products]. Technical Regulations of the Customs Union (TR TS) 021/2011 TR №. 799. App. 23.09.2011, 255 p.

5. Konservy. Soki fruktovye vosstanovlennye. Obshhie tehnicheskie uslovija [The canned food. Fruit juices restored. General technical conditions]. State standard (STB) 1824–2008, Ent. 21.01.2008, Minsk, Gosstandart, 15 p.

6. Konservy. Soki, nektary i sokosoderzhashhie napitki ovoshhnye, ovoshhefruktovye i fruktovo-ovoshhnye. Obshhie tehnicheskie uslovija [The canned food. Juices, nectars and juice drinks vegeta-ble, bewerkte fruit and vegetable. General technical conditions]. State standard (STB) 829–2008, Ent. 21.01.2008, Minsk, Gosstandart, 21 p.

7. Trebovanija k prodovol'stvennomu syr'ju i pishhevym produktam [Requirements to food raw ma-terials and food products]. Approved : Decree of the Ministry of health of the Republic of Belarus from 21.07.2013, № 52, 371 p.

8. Matveika, M., Braikova, A., Sadovski, V., (2016), Determination of heavy metals in sugarze inversion voltammetry [Opredelenie tjazhelyh metallov v saharoze inversionnoj vol'tamperometriej], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk state technological university*, 2016, № 31, pp. 84–90.

9. Vasil'ev, V. P. (2004), *Analiticheskaja himija: v 2 ch* [Analytical chemistry: in 2 hours], Moscow, Drofa Publ., V. 1, 122 p.

Статья поступила в редакцию 11. 10. 2017 г.

СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРОШКА MgO, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ МОДЕЛЬНОГО РАСТВОРА БИШОФИТА

SORPTION PROPERTIES OF THE NANOSTRUCTURED POWDER OF MgO PRODUCED FROM BISCHOFITE

УДК 661.846.22:544.723

И.В. Мацукевич*, В.В. Шевчук, О.В. Полховская, Ю.В. Матрунчик, Д.А. Конёк, В.В. Вашук
Институт общей и неорганической химии Национальной академии наук Беларуси

I. Matsukevich*, V. Shevchuk, O. Polhovskya J. Matrunchik, D. Kaniok, V. Vashook
Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus

РЕФЕРАТ

ОКСИД МАГНИЯ, БИШОФИТ, МЕТОД ОСАЖДЕНИЯ, РАЗМЕР ЧАСТИЦ, СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА, ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ

Предметом исследования данной работы является оксид магния, который находит широкое применение в качестве сорбента, катализатора, идентификатора загрязняющих химических и токсических веществ в процессах водо- и газоочистки. Исследована кристаллическая структура, дисперсность, микроструктура и сорбционные свойства порошка MgO, полученного методом осаждения из бишофита. Установлено, что наноструктурированный мезопористый порошок оксида магния является эффективным сорбентом ионов тяжелых металлов в водных средах. Изучена возможность повышения сорбционной способности MgO путем химической активации сорбента хлоридом магния и выявлено, что в присутствии хлорид-ионов его сорбционная ёмкость по отношению к ионам тяжелых металлов возрастает на 20–30 %, что делает оксид магния практически значимым материалом для очистки бишофита от примесей тяжелых металлов.

ABSTRACT

MAGNESIUM OXIDE, BISCHOFITE, DEPOSITION METHOD, PARTICLE SIZE, SORPTION PROPERTIES, HEAVY METALS

Magnesium oxide is used as adsorbent, catalyst and material for decontamination of chemicals and toxic substances. This is important for water and gas purification. In this work mesoporous magnesium oxide was prepared from bischofite water solutions by easy and cheap wet chemistry method. It is established that the nanostructured mesoporous powder of magnesium oxide is an effective sorbent of heavy metal ions in aqueous media. The possibility of the increasing adsorption capacity of MgO by chemical activation with magnesium chloride has been studied. It was revealed that in the presence of chloride ions the adsorption capacity of MgO powder increases by 20–30 % with respect to the heavy metal ions. That means magnesium oxide can be considered as a practically significant material for purification of bischofite from heavy metal impurities.

Учитывая то, что вовлечение в хозяйственный оборот побочных продуктов и отходов производства является одним из важнейших принципов зеленой химии и приводит к повышению эффективности использования природных ресурсов, практически значимой представляется задача поиска области применения такого широко распространённого побочного или промежуточного продукта горноперерабатывающей промышленности как бишофит, который, в частности, можно использовать для получения оксида магния.

Оксид магния является технологически значимым материалом, так как имеет очень широкий круг применения: используется для гетерогенного катализа в органическом синтезе [1–4],

* E-mail: *irinavas.k1975@gmail.com* (I. Matsukevich)

в производстве датчиков влажности и кислых газов [5], в процессах водо- и газоочистки от кислых примесей [6], для дезактивации химического оружия и боевых отравляющих веществ и нейтрализации токсических выбросов [7], в качестве антибактериального агента [8] и др. Оксид магния – многообещающий сорбент целого ряда веществ: тяжелых металлов, органических красителей, фторид-ионов, а также таких газов, как диоксид углерода и серы [9–13].

Целью работы является исследование сорбционных свойств наноструктурированного порошка MgO, полученного из бишофита, по отношению к ионам тяжелых металлов в водных средах. Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи: методом осаждения с последующей термообработкой получить порошок MgO; изучить его кристаллическую структуру, дисперсность, микроструктуру и сорбционные свойства.

Порошок оксида магния получали методом осаждения с последующей термообработкой. Для этого готовили модельный рассол бишофита – концентрированный раствор хлорида магния, содержащий примеси натрия, калия и сульфат-ионов из $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ (х.ч.), $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (ч.), KCl (х.ч.), $NaCl$ (х.ч.), после растворения всех компонентов модельный раствор фильтровали через бумажный обеззоленный фильтр ТУ 6-09-1678-95. Полученный раствор анализировали химическим и пламенно-фотометрическим методами анализа для уточнения состава модельного раствора. Содержание ионов щелочных металлов определяли на фотометре Sherwood Model 410. Плотность модельного раствора бишофита установили при помощи ареометра АОН-4 ГОСТ 18481-81. Уточненный состав раствора и его плотность приведены в таблице 1.

К двукратно разбавленному рассолу бишофита одномоментно подавали весь заранее рассчитанный объем 2 М водного раствора осадителя, приготовленного из $NaOH$ (ч.д.а.), при этом показатель pH среды осаждения составлял 12. После осаждения полученный гелеобразный осадок многократно промывали дистиллированной водой, фильтровали через бумажный обеззоленный фильтр ТУ 6-09-1678-95 и сушили до постоянной массы при температуре 105 °С. Оксид магния получали отжигом гидроксида магния при температуре 420 °С в течение 2 ч. Полученный образец подвергали тщательному перетиранию.

Идентификацию образцов проводили при помощи рентгенофазового анализа (РФА) (рентгеновский дифрактометр Bruker AXS (Германия), Cu-K_α-излучение). Размеры кристаллитов (t_1, нм), то есть размеры первичных частиц, оценивали по уширениям рентгеновских дифракционных пиков с помощью формулы Дебая–Шеррера [14]. Гранулометрический состав (распределение по размерам вторичных частиц) порошков определяли при помощи системы для исследования наночастиц Malvern Zetasizer Nano ZS (Великобритания). Исследования гранулометрического состава порошков MgO проводили предварительно обработав их спиртовые суспензии в ультразвуковой ванне с рабочей частотой 17 ± 1,7 кГц в течение 30 мин.

Растворы с концентрацией ионов марганца, кобальта, меди и свинца 100 мг/л были получены с использованием $Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (ч.), $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (ч.), $Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (х.ч.) и $Pb(NO_3)_2$ (х.ч.) соответственно. После добавления навески сорбента MgO растворы выдерживали при постоянном перемешивании. Через различные временные интервалы и после отстаивания смеси в течение 5–10 мин отбирали аликвоты растворов. Концентрации ионов тяжелых металлов (марганца, кобальта, меди и свинца) в растворах определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра ContrAA 300 (Германия) с пламенным атомизатором. Сорбционную емкость (q_t, мг/г) рассчитывали по формуле

Таблица 1 – Состав модельного рассола бишофита и его плотность

Содержание компонентов, мас. %				Плотность, г/см³
$MgCl_2$	$NaCl$	KCl	$MgSO_4$	
30,3	0,62	0,23	1,56	1,315

$$q_t = (C_0 - C_t) \cdot V / m, \qquad (1)$$

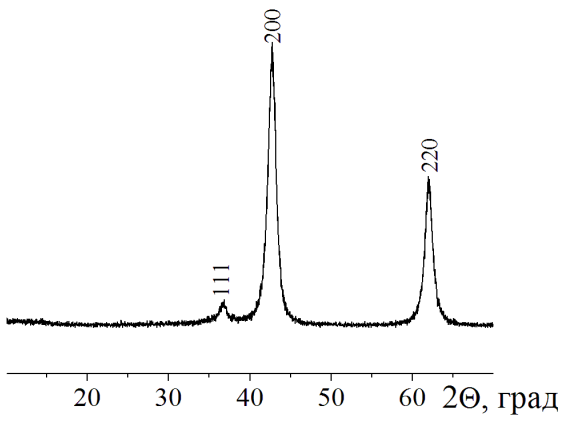
где C_0 и C_t – начальная концентрация ионов тяжелого металла и их концентрация после контакта сорбента с раствором в течении времени t соответственно, мг/л; V – объем раствора, л; m – масса навески сорбента, г. По аналогичной методике проводили исследование сорбционной активности оксида магния в присутствии хлорида магния при мольном соотношении $n(MgCl_2)$ / / $n(MgO) = 1/1$.

После сушки при температуре 105 °С образец, согласно результатам РФА, представлял собой гидроксид магния со структурой брусита и гексагональной кристаллической решёткой, а после отжига при температуре 420 °С материал идентифицировался как оксид магния со структурой периклаза (рисунок 1 *а*). Параметр элементарной ячейки составил a = 0,42213 нм, что хорошо согласуется с литературными данными [15]. Размер первичных частиц t_1 наноструктурированного порошка оксида магния, рассчитанный по уширениям рентгеновских дифракционных пиков с помощью формулы Дебая-Шеррера, составил 8,1 нм.

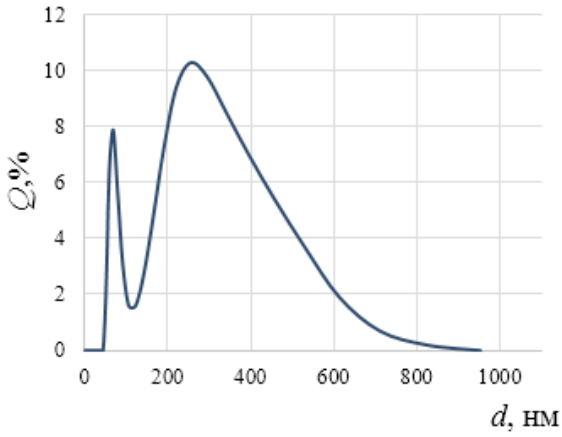
Ранее авторами в работе [16] установлено, что порошок MgO, полученный методом осаждения с последующей термообработкой, является мезопористым, а также показано, что после термообработки MgO сохраняет основные адсорбционно-структурные свойства, сформированные на этапе синтеза гидроксида магния, что может выступать в качестве дополнительного фактора регулирования этих свойств. Удельная поверхность и средний диаметр пор наноструктурированного порошка MgO составляли 124 м^2/г и 35 нм соответственно. Данный образец также показал очень высокое значение удельного объема пор – 1,038 см^3/г [16].

Как видно из рисунка 1 *б*, размеры вторичных частиц оксида магния, полученного из бишофита методом осаждения, изменялись в широких пределах, а распределение частиц по размерам характеризуется бимодальностью. Преобладающими являлись фракции с размерами частиц 50–70 нм и 200–400 нм. Наличие в порошке оксида магния крупных частиц обусловлено, очевидно, тем, что эти частицы представляют собой не отдельные зерна, а их агрегаты.

Как видно из таблицы 2, наноструктурированный порошок оксида магния, полученный из бишофита, является весьма эффективным сорбентом ионов тяжелых металлов в водных средах. Уже по истечении 2 часов контакта сорбента с раствором концентрация ионов меди и свинца



а



б

Рисунок 1 – Рентгеновская дифрактограмма (а) и результаты гранулометрического анализа (б) порошка оксида магния, полученного методом осаждения из бишофита

уменьшилась примерно в 5 раз, тогда как содержание ионов марганца и кобальта – примерно в 40 и 100 раз соответственно.

В работе была исследована возможность повышения сорбционной способности оксида магния по отношению к ионам тяжелых металлов в водных средах путем активации сорбента хлоридом магния. В таком случае, как и ожидалось, достигнуто значительное повышение эффективности очистки воды от ионов тяжелых металлов, что объясняется следующим. Оксид магния вступает в химическое взаимодействие с водным раствором хлорида магния и образовывать высокодисперсный осадок основного хлорида магния в соответствии с химической реакцией (2)

$$MgO + H_2O + MgCl_2 \rightarrow 2Mg(OH)Cl\downarrow. \quad (2)$$

Далее соли тяжелых металлов реагируют с этим осадком и осаждаются на его поверхности в виде соответствующих нерастворимых основных солей или гидроксидов, например, по уравнению (3)

$$PbCl_2 + 2Mg(OH)Cl \rightarrow 2MgCl_2 + Pb(OH)_2\downarrow. \quad (3)$$

В присутствии хлорида магния как активатора процесса сорбции в пределах чувствительности прибора ионы марганца и кобальта не обнаружены уже после 2 часов взаимодействия сорбента с раствором, а ионы меди и свинца – через 4 часа (таблица 2). Полученный результат хорошо согласуется с данными работ [17, 18], в которых авторы нашли простой и эффективный способ очистки водных растворов минерала бишофита от тяжелых металлов и установили, что оксид магния обеспечивает более эффективное удаление примесей по сравнению с силикагелем, активированным углем и оксидом алюминия.

Таким образом, в работе методом осаждения из бишофита получен порошок наноструктурированного оксида магния, который находит широкое применение в качестве адсорбента, катализатора, идентификатора загрязняющих химических и токсических веществ, в процессах водо- и газоочистки. Исследована кристаллическая структура, дисперсность, микроструктура и

Таблица 2 – Сорбционные свойства нанаоструктурированного оксида магния, полученного из бишофита, по отношению к ионам тяжелых металлов в водных средах

Время контакта сорбента с раствором t, ч	Сорбент	*Mn*		*Co*		*Cu*		*Pb*	
		C_t, мг/л	q_t, мг/г	C_t, мг/л	q_t, мг/г	C_t, мг/л	q_t, мг/г	C_t, мг/л	q_t, мг/г
2	***MgO***	2,27	6,98	0,67	7,10	23,70	5,45	18,63	5,81
	MgO + активатор#	0*	7,14	0*	7,14	1,59	7,03	0,36	7,12
4	***MgO***					1,17	7,06	0,33	7,12
	MgO + активатор#					0*	7,14	0*	7,14
6	***MgO***	0*	7,14	0*	7,14				
	MgO + активатор#	0*	7,14	0*	7,14				
24	***MgO***	0*	7,14	0*	7,14	0*	7,14	0*	7,14
	MgO + активатор#	0*	7,14	0*	7,14	0*	7,14	0*	7,14

Примечание:

 # – в качестве активатора процесса сорбции использовался хлорид магния, взятый в мольном соотношении $n(MgCl_2)/n(MgO) = 1/1$;

** – в пределах чувствительности прибора присутствие ионов тяжелых металлов обнаружено не было, однако, они могли присутствовать в следовых количествах.*

сорбционные свойства порошка MgO. Средний размер первичных частиц $Mg(OH)_2$ составлял 8,1 нм, а размеры вторичных частиц изменялись в пределах от 40 до 825 нм. Установлено, что наноструктурированный мезопористый порошок оксида магния является эффективным сорбентом ионов тяжелых металлов в водных средах, что, вероятно, связано с его высокой удельной поверхностью. Изучена возможность повышения сорбционной способности MgO путем химической активации сорбента хлоридом магния и выявлено, что в присутствии хлорид-ионов его сорбционная ёмкость по отношению к ионам тяжелых металлов возрастает на 20–30 %. Этот факт делает оксид магния практически значимым материалом для эффективной очистки бишофита от примесей тяжелых металлов.

Авторы благодарят Н.Л. Будейко за проведение рентгенофазового анализа оксида магния. Работа выполнена при поддержке ГПНИ «Химические технологии и материалы» (подпрограмма «Новые химические технологии и продукты», задание 1.01).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Umar, A., Hahn, Y. B. (2010), *Metal Oxide Nanostructures and their Applications. American Scientific Publishers*, *USA*.

2. Jun, Ch., Shuanghong T., Jiang, L., Ya, X. (2015), Catalytic performance of MgO with different exposed crystal facetstowards the ozonation of 4-chlorophenol, *Applied Catalysis: General*, 2015, vol. 506, pp. 118–125.

3. Selvama, N.C.S., Kumara, R. T., Kennedyb, L. J., Vijaya, J. J. (2013), Comparative study of microwave and conventional methods for the preparation and optical properties of novel MgO-micro and nano-structures,*Journal of Alloys and Compounds*, 2011, vol. 509, pp. 9809– 9815.

4. Demirci, S., Öztürk, B., Yildirim, S., Bakal, F., Erol, M., Sancakoğlu, O., Yigit, R., Celik, E., Batar, T. (2015), Synthesis and comparison of the photocatalytic activities of flame spray pyrolysis and sol–gel derived magnesium oxide nanoscale particles,*Materials Sciencein Semiconductor Processing*, 2015, vol. 34, pp. 154–161.

5. Yu, J.C., Xu, A., Zhang, L., Song, R., Wu, L. (2004), Synthesis and characterization of porous magnesium and oxide nanoplates, *Journal of Physical Chemistry*, 2004, vol. 108, pp. 6–70.

REFERENCES

1. Umar, A., Hahn Y. B. (2010), *Metal Oxide Nanostructures and their Applications. American Scientific Publishers, USA*.

2. Jun, Ch., Shuanghong T., Jiang, L., Ya, X. (2015), Catalytic performance of MgO with different exposed crystal facetstowards the ozonation of 4-chlorophenol, *Applied Catalysis: General,* 2015, vol. 506, pp. 118–125.

3. Selvama, N.C.S., Kumara, R. T., Kennedyb, L. J., Vijaya, J. J. (2013), Comparative study of microwave and conventional methods for the preparation and optical properties of novel MgO-micro and nano-structures, J*ournal of Alloys and Compounds*, 2011, vol. 509, pp. 9809–9815.

4. Demirci, S., Öztürk, B., Yildirim, S., Bakal, F., Erol, M., Sancakoğlu, O., Yigit, R., Celik, E., Batar, T. (2015), Synthesis and comparison of the photocatalytic activities of flame spray pyrolysis and sol–gel derived magnesium oxide nanoscale particles,*Materials Sciencein Semiconductor Processing,* 2015, vol. 34, pp. 154–161.

5. Yu, J.C., Xu, A., Zhang, L., Song, R., Wu, L. (2004), Synthesis and characterization of porous magnesium and oxide nanoplates, *Journal of Physical Chemistry*, 2004, vol. 108, pp. 6–70.

6. Rizwan, W., Ansari, S. G., Dar, M. A., Kim, Y. S., Shin, H. S. (2007), Synthesis of magnesium oxide nanoparticles by sol-gel process, *Materials Science Forum*, 2007, vols. 558–559, pp. 983–986.

7. Zeyneb, C., Sema (Akyil), E., Sabriye (Doyurum), Y. (2012), Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties, *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 2012, vol. 31, iss. 4, pp. 536–543.

8. Bindhul, M. R., Umadevi, M., Michea, M. Kavin, Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A. (2016), Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial applications, *Materials Letters*, 2016, vol. 166, pp. 19–22.

9. Gao, G. L. Zhang, W., Li, H., Lang, L., Xu, Z. (2008), Controllable fabrication of mesoporous MgO with various morphologies and their absorption performance for toxic pollutants in water, *Cryst. Growth Des.*, 2008, vol. 8, pp. 3785–3790.

10. Nagappa, B., Chandrappa, G. T. (2006), Mesoporous nanocrystalline magnesium oxide for environmental remediation, *Micropor. Mesopor. Mat.*, 2006, vol. 106, pp. 212–218.

11. Sasaki, M., Fukumoto, N., Moriyama, S., Hirajima, T. (2011), Sorption characteristics of fluoride on to magnesium oxide-rich phases calcined at different temperatures, *J. Hazard. Mater.*, 2011, vol. 191, pp. 240–248.

12. Wang, Q., Luo, J., Zhong, Z., Borgna, A. (2011), CO_2 capture by solid adsorbents and their applications: currents status and new trends, *Energy Environ.* Sci., 2011, vol. 4, pp. 42–55.

13. Srivastavaa, V., Sharmab, Y. C., Sillanpää, M. (2015), Green synthesis of magnesium oxide nanoflower and its application for the removal of divalent metallic species from synthetic wastewater, *Ceramics International*, 2015, vol. 69, pp. 2764–2772.

6. Rizwan, W., Ansari, S. G., Dar, M. A., Kim, Y. S., Shin, H. S. (2007), Synthesis of magnesium oxide nanoparticles by sol-gel process, *Materials Science Forum*, 2007, vols. 558–559, pp. 983–986.

7. Zeyneb, C., Sema (Akyil), E., Sabriye (Doyurum), Y. (2012), Magnesium Oxide Nanoparticles: Preparation, Characterization, and Uranium Sorption Properties, *Environmental Progress & Sustainable Energy,* 2012, vol. 31, iss. 4, pp. 536–543.

8. Bindhul, M. R., Umadevi, M., Michea, M. Kavin, Arasu, M. V., Al-Dhabi, N. A. (2016), Structural, morphological and optical properties of MgO nanoparticles for antibacterial applications, *Materials Letters*, 2016, vol. 166, pp. 19–22.

9. Gao, G. L. Zhang, W., Li, H., Lang, L., Xu, Z. (2008), Controllable fabrication of mesoporous MgO with various morphologies and their absorption performance for toxic pollutants in water, *Cryst. Growth Des.*, 2008, vol. 8, pp. 3785–3790.

10. Nagappa, B., Chandrappa, G. T. (2006), Mesoporous nanocrystalline magnesium oxide for environmental remediation, *Micropor. Mesopor. Mat.*, 2006, vol. 106, pp. 212–218.

11. Sasaki, M., Fukumoto, N., Moriyama, S., Hirajima, T. (2011), Sorption characteristics of fluoride on to magnesium oxide-rich phases calcined at different temperatures, *J. Hazard. Mater.*, 2011, vol. 191, pp. 240–248.

12. Wang, Q., Luo, J., Zhong, Z., Borgna, A. (2011), CO_2 capture by solid adsorbents and their applications: currents status and new trends, *Energy Environ.* Sci., 2011, vol. 4, pp. 42–55.

13. Srivastavaa, V., Sharmab, Y. C., Sillanpää, M. (2015), Green synthesis of magnesium oxide nanoflower and its application for the removal of divalent metallic species from synthetic wastewater, *Ceramics International,* 2015, vol. 69, pp. 2764–2772.

14. Jenkins, R., Snyder, R. L. (1996), *Introduction to X-ray Powder Diffractometry. John Wiley & Sons Inc.*, pp. 89–91.

15. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 01-074-1225.

16. Ручец, А. Н., Бесараб, С. В., Мацукевич, И. В. (2016), Адсорбционные свойства наноструктурированных порошков $Mg(OH)_2$ и MgO, *Новые горизонты 2016: материалы Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума,* Минск, 2016, с. 201–202.

17. Озеров, А. А., Сысуев, Б. Б., Солодунова, Г. Н., Мерешкова, Н. Ю. (2015), Эффективная технология очистки бишофита методом адсорбции на оксиде магния, *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 7, с. 83–85.

18. Петров, В. И., Спасов А. А., Озеров, А. А., Сысуев, Б. Б. (2012), Способ очистки бишофита. *Патент РФ № 2442593 С2*, 2012.

14. Jenkins, R., Snyder, R. L. (1996), *Introduction to X-ray Powder Diffractometry. John Wiley & Sons Inc.*, pp. 89–91.

15. Powder Diffraction File. Swarthmore: Joint Committee on Powder Diffraction Standard: Card № 01-074-1225.

16. Ruchets, A. N., Besarab, C. V., Matsukevich, I. V. (2016), Absorption properties of nanostructured powders $Mg(OH)_2$ and MgO [Adsorbcionnye svojstva nanostrukturirovannyh poroshkov $Mg(OH)_2$ i MgO], *New horizons 2016: materials of the Belarus-China Youth Innovation Forum*, Minsk, 2016, pp. 201–202.

17. Ozerov, A. A., Sysuev, B. B., Solodunova, G. N., Mereshkova, N. Ju. (2015), Effective technology for cleaning bischofite by adsorption on magnesium oxide [Jeffektivnaja tehnologija ochistki bishofita metodom adsorbcii na okside magnija], *International Journal of Applied and Fundamental Research*, No. 7, pp. 83–85.

18. Petrov, V. I., Spasov A. A., Ozerov, A. A., Sysuev, B. B. (2012), Method for cleaning bischofite [Sposob ochistki bishofita]. Patent of the Russian Federation No. 2442593 C2, 2012.

Статья поступила в редакцию 14. 08. 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ НА ПЕРСОНАЛ В ОРГАНИЗАЦИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

STUDY OF LABOUR COSTS MANAGEMENT IN BELARUS ORGANIZATIONS

УДК 331

Е. А. Алексеева*
Витебский государственный технологический университет

A. Aliakseyeva*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЗАТРАТЫ НА ПЕРСОНАЛ, СТРУКТУРА ЗАТРАТ НА ПЕРСОНАЛ, МЕТОДИКА АНАЛИЗА УПРАВЛЕНИЯ ЗАТРАТАМИ НА ПЕРСОНАЛ, РЕЗУЛЬТАТЫ ТРУДА, ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПЕРСОНАЛА, ЭКОНОМИКИ ЗНАНИЙ, КОНТРОЛЛИНГ

В статье обоснована необходимость пересмотра подходов к управлению затратами на персонал в условиях становления экономики знаний. Была проанализирована структура затрат на персонал в Республике Беларусь на макроуровне и выявлено ее несоответствие приоритетам становления экономики знаний. Для более глубокого исследования причин возникновения дисбаланса в структуре затрат на персонал автором была разработана методика анализа управления затратами на персонал на микроуровне. Результаты апробации данной методики позволили выявить ключевые проблемы управления затратами на персонал, а также разработать рекомендации для его совершенствования. В частности, была обоснована необходимость дифференциации персонала по результатам труда и применения инструментов контроллинга в управлении затратами на персонал. Полученные результаты и разработанные рекомендации могут быть использованы коммерческими организациями для повышения заинтересованности персонала в результатах труда и создания предпосылок для роста производительности труда.

ABSTRACT

LABOUR COSTS, LABOUR COSTS STRUCTURE, METHODS OF LABOUR COSTS MANAGEMENT STUDY, LABOUR PERFORMANCE, STAFF DIFFERENTIATION, KNOWLEDGE ECONOMY, CONTROLLING

The article contains the rationale for revising of labour costs management approaches in the context of knowledge economy development. Labour costs structure analysis on macro-level in Belarus economy revealed its inconsistency with the knowledge economy principals. The author developed and implemented new methods of labour costs management study on micro-level to discover the causes of the labour costs structure imbalance. Implementation of this methods in Belarus organizations allowed to identify the main problems of labour costs management and to find the solutions. In particular, the needs of staff differentiation depending on the labour performance as well as controlling tools in labour costs management applying were justified. The results obtained and recommendations developed can be used by organizations in order to increase staff incentive and to build the capacity to the labor productivity growth.

* E-mail: *elena_d@tut.by* (A. Aliakseyeva)

В условиях формирования экономики знаний персонал организаций становится ключевым ресурсом, обеспечивающим возможности создания продукта с высокой добавленной стоимостью и повышения конкурентоспособности организации. Человек становится наиболее выгодным объектом инвестирования, способным обеспечить высокую отдачу на вложенные средства посредством создания новых знаний и их внедрения в деятельность организации. Однако для этого необходимо идентифицировать носителей интеллектуального капитала и создать условия, необходимые для реализации их потенциала. Индивидуальная эффективность таких сотрудников выше, чем в среднем по предприятию, и, соответственно, эффективность инвестиций в них тоже будет выше.

В своей концепции, посвященной росту неопределенности трудовых отношений в современном обществе, американский ученый Д. Пинк акцентирует свое внимание на изменении содержания труда в постиндустриальной экономике [1]. Труд становится более творческим, разнообразным, менее тяжелым физически, но одновременно требует большей вовлеченности, эмоционального интеллекта, креативности. Активно развиваются новые формы трудовых отношений, такие как фриланс, удаленная работа и др. [2]. Работа с персоналом в условиях экономики знаний требует дифференцированного подхода с точки зрения влияния отдельных сотрудников на результативность работы предприятия. В современных условиях актуальным направлением исследований является не только оптимизация затрат на персонал, но и дифференциация персонала в зависимости от индивидуальных результатов труда, индивидуальной эффективности, а также влияния сотрудника на результаты работы организации в целом.

Управление затратами на персонал и оптимизация их структуры являются одним из источников роста производительности труда и эффективности деятельности организаций. В Республике Беларусь с 2012 года при сборе статистической информации используется классификация расходов на персонал, соответствующая подходу Международной организации труда, в соответствии с которой затраты на персонал включают заработную плату; расходы на социальную защиту работников; расходы на обеспечение работников жильем; расходы на профессиональное обучение; расходы на культурно-бытовое обслуживание, прочие расходы.

Структура затрат на персонал в Республике Беларусь характеризуется наличием дисбаланса, хотя и остается относительно стабильной уже около 10 лет как в периоды кризиса, так и в условиях экономического роста (рисунок 1).

Рисунок 1 – Структура затрат на персонал в Республике Беларусь, 2014 г., в %

Источник: по данным [3].

В ней доминируют заработная плата и расходы на социальную защиту, занимая в совокупности около 97 % от всех расходов на персонал [3]. Характерно, что эти две группы затрат вытеснили такие важные с точки зрения долгосрочной мотивации элементы затрат, как обеспечение работников жильем и культурно-бытовое обслуживание. Их совокупная доля сократилась с 8 % до 0,5 % за последние 25 лет.

Еще одной особенностью структуры расходов на персонал в Республике Беларусь является крайне низкий удельный вес расходов на профессиональное обучение (0,2 %). Но если 25 лет назад это можно было объяснить тем, что государство финансировало обучение и развитие сотрудников, то сегодня на рынке образовательных услуг доминирует платное образование. А это означает, что расходы на обучение теперь финансируются в основном за счет доходов граждан.

Низкий удельный вес расходов на профессиональное обучение сдерживает развитие рынка дополнительного образования взрослых, а также становление экономики знаний, где именно организации становятся центрами формирования новых знаний и обучения через создание стимулирующей обучающей среды для своих сотрудников. Существующая структура расходов на персонал в большей степени характерна для индустриальной экономики, но в условиях становления экономики знаний она требует пересмотра.

Применяемые в настоящее время механизмы управления затратами на персонал малоэффективны в первую очередь из-за слабой отработки методологических подходов. В трудах специалистов по управлению затратами на персонал применяются в основном эмпирические подходы без четкой проработки организационных вопросов взаимосвязи различных элементов затрат с результатами труда. Это порождает противоречия в экономических интересах между работниками разных подразделений, работников часто поощряют за результаты, которые слабо зависят от их деятельности или наказывают рублем за неудачи, которые от них не зависят. Затраты на персонал не должны отождествляться с расходами на оплату труда и обязательные отчисления. Современное предприятие должно быть готово и способно финансировать и ряд других расходов (оплата питания, проезда, жилья, культурно-бытовое обслуживание и прочие), которые не являются обязательными, но влияют на мотивацию персонала и требуют источников финансирования. Такие затраты свидетельствуют о социальной ответственности предприятия, но не всегда воспринимаются работниками как элемент стимулирования труда. Кроме того, если эти социальные блага являются для работников организации равнодоступными, то их ценность в восприятии персонала снижается.

Изучение зарубежного опыта управления затратами на персонал показывает, что в Европейском Союзе в среднем доля затрат на заработную плату и социальное страхование не превышает 74 %, а остальные виды затрат (оплата питания, проезда, жилья, культурно-бытовое обслуживание, обучение и развитие персонала и пр., влияющие на мотивацию) в совокупности составляют около 26 %. В отдельных странах, таких как Швеция и Франция, доля расходов на персонал, не относящаяся к заработной плате и социальному страхованию, доходит до 32–35 %. В то же время структура затрат на персонал в Российской Федерации и Республике Беларусь практически совпадает (отклонения по структуре видов затрат не превышают 1 %) [4].

Для более глубокого изучения вопросов управления затратами на персонал необходимо провести исследование процесса и результатов управления затратами на персонал на микроуровне. Для этого автором была разработана методика анализа управления затратами на персонал, включающая следующие этапы:

– постановка целей анализа затрат на персонал;

– анализ состава и структуры затрат на персонал;

– анализ планирования расходов на персонал для обеспечения реализации целей кадровой политики;

– оценка методов и подходов, применяемых для оптимизации затрат на персонал;

– анализ применяемых способов определения результативности труда работников;

– оценка дифференциации работников по уровню производительности;

– определение проблемных зон в управле-

нии затратами на персонал;

– разработка рекомендаций по совершенствованию управления затратами на персонал в соответствии с целями анализа.

Предложенная автором методика была апробирована в 2017 году в рамках исследования потенциала кадровых служб и оценки кадровых проблем организаций Республики Беларусь методом анкетирования руководителей и сотрудников кадровых служб[1]. В анкетировании приняли участие 38 специалистов и руководителей кадровых служб организаций Республики Беларусь различных видов экономической деятельности (среди них 13 промышленных предприятий, 4 сельскохозяйственных, 4 транспортных, 2 учреждения здравоохранения, 2 предприятия энергетики, строительная организация, торговая организация, учреждение образования, а также организации других видов деятельности). Целью исследования является изучение особенностей и закономерностей процесса управления затратами на персонал в организациях Республики Беларусь и разработка направлений его совершенствования для усиления трудовой мотивации и обеспечения роста показателей результативности. Данные представлены в обобщенном виде.

В исследовании приняли участие представители организаций различного размера (по численности персонала), данные представлены на рисунке 2. Следует также отметить, что финансовое положение своей организации 66 % респондентов оценили как устойчивое, 29 % как неустойчивое, и лишь 5 % – как кризисное. То есть две трети организаций имеют возможность увеличить финансирование расходов на персонал, но такое увеличение должно быть экономически обоснованным.

В ходе исследования респондентам было предложено выбрать кадровые проблемы, существующие в их организации, из 12 предложенных, а также указать другие, если они не были перечислены в списке. Среди опрошенных 10,5 % указали, что в организации нет кадровых проблем. Самой распространенной среди опрошенных организаций оказался «низкий уровень среднемесячной заработной платы персонала», его указали 45 % опрошенных. 40 % указали текучесть кадров, 31,5 % – старение коллектива, 26 % – дефицит высококвалифицированных работников. Другие проблемы (обучение персонала, квалификация сотрудников, кадровая политика и прочие) отметили менее 20 % опро-

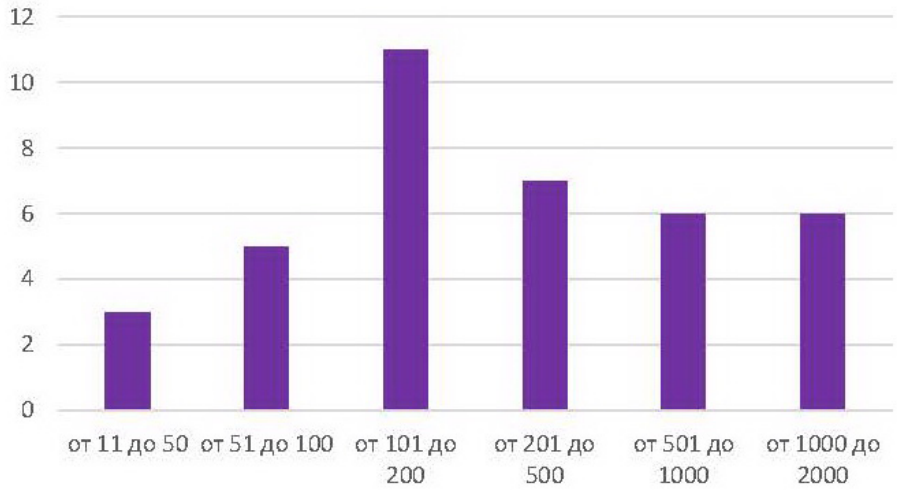


Рисунок 2 – Распределение организаций-респондентов по численности сотрудников, ед.

[1] *Исследование проведено в рамках выполнения задания «Разработка теоретико-методологических подходов и прикладных инструментов управления человеческими ресурсами в современной организации» ГПНИ на 2016-2020 гг. «Экономика и гуманитарное развитие белорусского общества»».*

шенных. Эти ответы свидетельствуют об ухудшении качественных характеристик человеческого капитала, что создает угрозу для будущего развития компаний. Низкий уровень заработной платы в течение длительного периода времени приводит к тому, что в организациях ощущается нехватка молодых, активных и квалифицированных специалистов, способных укрепить позиции предприятия и создавать новые конкурентные преимущества, обеспечивая рост выручки, добавленной стоимости и производительности труда.

При анализе финансируемых организациями различных видов расходов на персонал было выявлено, что 89 % опрошенных оказывают сотрудникам материальную помощь, по 58 % указали на выплаты выходных пособий в случае прекращения контракта, единовременных пособий при выходе на пенсию, оплачивают путевки на оздоровление. 42 % респондентов осуществляют страховые платежи по добровольному страхованию в пользу работников (рисунок 3). Однако эти виды расходов не связаны с результативностью труда и не способствуют усилению трудовой мотивации. Более того, выплаты в связи с увольнением и выходом на пенсию не являются инвестициями в человеческий капитал, а скорее вызваны сокращением и естественным выбытием персонала. А путевки на оздоровление, как правило, оплачиваются из средств профсоюза, которые формируются за счет членских взносов.

Оптимизация структуры затрат на персонал может стать дополнительным источником роста для организации. Результаты анализа применяемых способов оптимизации расходов на персонал среди опрошенных организаций показывают, что треть организаций при оптимизации расходов на персонал опирается на достигнутые результаты работы предприятия. По 18 % учитывают стратегические цели и приоритеты кадровой политики и результаты анализа состава и структуры затрат. У 18 % организаций оптимизация затрат преследует цели их снижения, у 16 % оптимизация затрат на персонал не проводится. И лишь у 13 % она основывается на результатах труда. Таким образом, две трети исследуемых организаций не применяют современные инструменты оптимизации затрат на персонал, используя приблизительные расчеты от достигнутого для их планирования, а также не обеспечивают увязку целей кадровой политики с управлением расходами на персонал.

В современных условиях актуальным направлением исследований является не только оптимизация затрат на персонал, но и дифференциация персонала в зависимости от индивидуальных результатов труда, индивидуальной

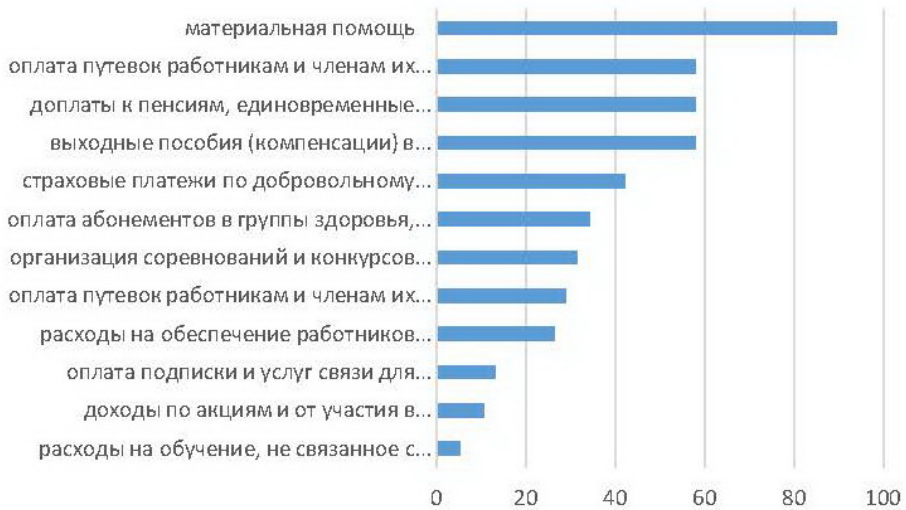


Рисунок 3 – Приоритеты расходов на персонал по видам, финансируемые организациями-респондентами, % опрошенных предприятий

эффективности, а также влияния сотрудника на результаты работы организации в целом.

На вопрос о том, как определяется результативность труда работников в организации, 39,5 % указали, что для каждой категории работников разработаны свои показатели результативности; 37 % указали, что результативность зависит от выполнения плана, 34 % респондентов отметили, что для административно-управленческого персонала результативность труда определяется по результатам работы предприятия. 18 % определяют результативность по выработке для основных производственных рабочих. Только 10,5 % опрошенных указали, что критерии результативности определены для каждого работника.

На вопрос о дифференциации персонала по уровню производительности 37 % отметили, что дифференциация осуществляется в целом по предприятию, 21 % дифференцирует персонал по производительности по каждой категории сотрудников, 16 % дифференцируют по уровню производительности только производственных рабочих. 24 % опрошенных не дифференцируют персонал по уровню производительности (рисунок 4).

В Республике Беларусь практическое применение инструментов управления затратами на персонал осложнено рядом обстоятельств: отсутствием затрат на персонал в качестве объекта бухгалтерского, налогового, статистического учета (чаще всего эти затраты рассматриваются как часть затрат на производство и реализацию продукции, при этом затраты на развитие трудового потенциала и некоторые другие виды затрат на персонал не учитываются, оставаясь в составе прочих или иных расходов); управление затратами на персонал не являются самостоятельной функцией управления персоналом; затраты на персонал планируются не в полном объеме, а лишь в части расходов на оплату труда и обязательных отчислений, а другие виды расходов на персонал нередко финансируются по остаточному принципу.

Вместе с тем управление затратами на персонал и оптимизация их структуры являются одним из источников роста производительности труда и эффективности деятельности организаций.

По данным международной организации труда, производительность труда в Республике Беларусь отстает от среднемирового уровня более чем в 2 раза. Отстает Республика Беларусь и в регионе Восточной Европы в среднем в 1,5–1,7 раза [5]. Причем, по прогнозам МОТ, до 2020 года это отставание сохранится.

Для преодоления отставания в уровне производительности труда необходимо не только постепенно перестраивать структуру национальной

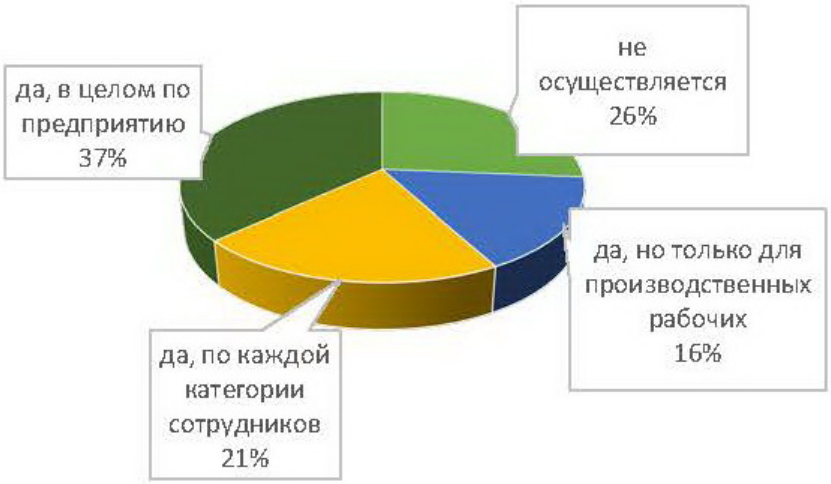


Рисунок 4 – Оценка способов, применяемых для дифференциации работников по уровню производительности, % опрошенных предприятий

экономики в пользу наукоемких и высокотехнологичных отраслей с высокой добавленной стоимостью, но и пересматривать существующие подходы к управлению персоналом на макро- и микроуровне [6].

В современной экономической литературе отсутствуют исследования, позволяющие количественно оценить влияние уровня расходов на персонал и их структуры на результаты работы предприятия и производительность труда, а также механизмы, позволяющие управлять расходами на персонал с целью их оптимизации и обеспечения роста производительности труда. Поэтому вопросы управления затратами на персонал требуют комплексного подхода и теоретико-методологического обоснования.

Проблемы оптимизации затрат на персонал достаточно хорошо освещены в современной экономической литературе, однако актуальной остается необходимость разработки системы оценки результатов труда и их влияния на результаты работы предприятия, а также создание системы управления затратами на персонал, обеспечивающей дифференцированный подход к распределению затрат на персонал на основе взаимосвязи вознаграждения с результатами труда и результатами работы предприятия.

По мнению автора, для решения этой проблемы следует использовать инструменты контроллинга, который рассматривается нами как система управленческих действий, обеспечивающих достижение поставленных целей.

Под контроллингом для целей управления затратами на персонал понимается планирование, информационно-аналитическая поддержка и контроль процесса управления затратами на персонал организации в соответствии с достигнутыми результатами хозяйственной деятельности. При этом учитываются как эффективность индивидуального труда, так и конечные результаты деятельности организации. Особую роль в постановке процесса управления затратами на персонал играет информационная и методическая поддержка, которая может быть реализована при помощи разработки информационно-аналитической системы, обрабатывающей входные данные о результативности труда и результатах работы предприятия и обеспечивающая их привязку к системе экономического стимулирования. Этот информационный блок может быть встроен в уже используемую организацией информационную систему управления или же существовать автономно. В последнем случае задачи ввода исходной информации и обеспечение ее актуальности и достоверности могут быть возложены на кадровую службу.

Основными задачами контроллинга в этом случае являются: установление показателей оценки результативности деятельности работников; планирование затрат на персонал; постановка управленческого учета, обеспечивающего систему управления затратами на персонал информацией об индивидуальных результатах труда; постановка мониторинга внешних факторов и ограничений, влияющих на параметры системы управления затратами на персонал; определение критериев оптимизации затрат на персонал; анализ учетных данных и расчет показателей, отражающих вклад работников и подразделений в достижение целей организации; контроль бюджета затрат на персонал с учетом результатов работы предприятия в целом; оценка эффективности системы управления затратами на персонал и разработка рекомендаций по ее улучшению.

Таким образом, ключевым аспектом процесса управления затратами на персонал является дифференциации персонала для оптимизации затрат на персонал с учетом индивидуальных результатов труда, индивидуальной эффективности, а также влияния сотрудника на результаты работы организации в целом. Для решения этой задачи предлагается использовать инструментарий контроллинга. Это позволит усилить взаимосвязь результатов труда и вознаграждения, повысить заинтересованность персонала в результатах работы и создаст предпосылки для усиления мотивации и роста производительность труда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Анисимов, Р. И. (2017), Труд в эпоху неопределенности, *Социологические исследования,* 2017, № 11, С. 44–52.

2. Menshikov, V., Lavrinenko, O., Vankevich, A. (2017), Mobile Lifestyle of Latvian and Belarusian Youth in the Aspect of Employment, *FILOSOFIJA. SOCIOLOGIJA*, 2017, Lithuanian Academy of Sciences, Vilnus, T. 28, Nr. 4, p. 236–245.

3. Труд и занятость в Республике Беларусь, 2016. Статистический сборник, (2016), Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 290 с.

4. Human development report 2015. United nations development programme (2015), URL: http://hdr.undp.org/en/data.

5. Key Indicators of the Labour Market. ILOSTAT. - [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.ilo.org/ilostat/.

6. Ванкевич, Е. В., Кастел-Бранко, Э. (2017), Информационно-аналитическая система рынка труда и прогнозирования потребности в кадрах: содержание и направления формирования в Республике Беларусь, *Белорусский экономический журнал*, 2017, № 2, С. 73–92.

REFERENCES

1. Anisimov, R. I. (2017), Labour in an uncertainty era [Trud v uslovijakh neopredelennosti], *Social studies*, 2017, № 11, С. 44–52.

2. Menshikov, V., Lavrinenko, O., Vankevich, A. (2017), Mobile Lifestyle of Latvian and Belarusian Youth in the Aspect of Employment, *FILOSOFIJA. SOCIOLOGIJA,* 2017, Lithuanian Academy of Sciences, Vilnus, T. 28, Nr. 4, p. 236–245.

3. Labour and employment in the Republic of Belarus, 2016 [Trud i zaniatost v Respublike Belarus, 2016]. Statistical collection, (2016), National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 290 c.

4. Human development report 2015. – United nations development programme. – available at: http://hdr.undp.org/en/data.

5. Key Indicators of the Labour Market. ILOSTAT. - available at: http://www.ilo.org/ilostat/.

6. Vankevich, A., Castel Branco, E. (2017), Labour market information system and skills anticipation (LMIS): content and directions of formation in the Republic of Belarus. [Informacionno-analiticheskaya sistema rynka truda i prognozirovanija potrebnosti v kadrakh: sodershchaniye i napravlenija formirovanija v Respublike Belarus], *Belorusskij jekonomicheskij zhurnal – Belarusian Economic Journal*, № 2, С. 73–92.

Статья поступила в редакцию 29. 11. 2017 г.

КОМПЛЕКСНАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ЦЕЛЕВОГО ПОДХОДА

COMPREHENSIVE METHODOLOGY FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF A COMMERCIAL ORGANIZATION BASED ON A TARGETED APPROACH

УДК 658.114:657.6

Е.С. Грузневич[1*], З.И. Щелкунова[2]
[1] Витебский государственный технологический университет
[2] Иностранное общество с ограниченной ответственностью «СОЮЗ-КАБЕЛЬ»

K. Gruznevitch[1*], Z. Shchelkunova[2]
[1] Vitebsk State Technological University
[2] Foreign Society with Limited Liability «SOYUZ-KABEL»

РЕФЕРАТ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ЭВОЛЮЦИЯ НОВЫХ ПОДХОДОВ, ЦЕЛЕВОЙ ПОДХОД, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ, КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ, ЗАТРАТНО-РЕСУРСНЫЙ ПОДХОД

Объектом исследования в данной работе являются подходы к оценке эффективности деятельности коммерческой организации.

Предметом исследования является эффективность деятельности коммерческой организации.

Целью исследования являлось изучение новых подходов к оценке эффективности деятельности коммерческой организации, определение проблем их использования в условиях экономики Республики Беларусь, а также разработка авторской методики комплексной оценки эффективности на основе компиляции новых зарубежных подходов с учетом адаптации в практику отечественных организаций.

Разработана методика комплексной оценки эффективности деятельности коммерческих организаций с учетом зарубежного опыта.

Результаты исследования могут быть использованы в практической деятельности коммерческих организаций нашей страны. Использование разработанной методики дает организации большую гибкость для ее управления, способность быстрее реагировать на изменения во внешней среде и учитывать специфические особенности ее деятельности.

ABSTRACT

EFFICIENCY OF THE BUSINESS ACTIVITY, NEW APPROACHES TO THE EVALUATION OF EFFICIENCY, EVOLUTION OF NEW APPROACHES, ADVANTAGES AND DISADVANTAGES, TARGET APPROACH, STATISTICAL METHODS, INTEGRATED INDICATOR, COST-RESOURCE APPROACH, STAGES OF EVALUATION

The article presents the results of the study of new foreign approaches to the evaluation of the efficiency of the commercial organization, namely: evolution, essence, key indicators, advantages and disadvantages. The problem of their use under the conditions of the economy of the Republic of Belarus is determined. The author's methodology for a comprehensive assessment of efficiency based on the compilation of new approaches was developed, taking into account the adaptation to the practice of domestic organizations, the evaluation stages were examined in detail, and approbation was carried out using the example of an industrial organization in Vitebsk, which enabled to determine efficiency in terms of a targeted approach and depart from the traditional cost- respiratory approach. This gives the organization greater flexibility for its management, the ability to react more quickly to changes in the external environment and to take into account the specific features of its activities.

* E-mail: *gruzs@mail.ru* (K. Gruznevitch)

ВВЕДЕНИЕ

Современные рыночные условия, в которых функционируют коммерческие организации, характеризуются экономической нестабильностью, повышенными рисками, дефицитом сырьевых ресурсов и жесткой конкуренцией за покупателей. В таком положении повысилось внимание к анализу эффективности бизнеса, что требует поиска новых подходов к его оценке. Наряду с планированием, контролем, регулированием, стимулированием и организацией деятельности организации, роль оценки эффективности становится основополагающей, так как обеспечивает информационную основу для реализации перечисленных функций. Это приобретает особую актуальность, так как от ее правильных результатов будет зависеть успешность, жизнеспособность и прибыльность организации.

На наш взгляд, оценка эффективности – это совокупность приемов, способов и методов, с помощью которых можно получить заключение о результативности деятельности организации и целесообразности осуществления ее предпринимательской деятельности.

Правильно выбранный подход ее проведения способствует выявлению факторов роста стоимости и конкурентоспособности предприятия не только в текущий момент времени, но и в долгосрочной перспективе. При выборе подхода к оценке эффективности деятельности основополагающим принципом является формирование системы взаимосвязанных информативных показателей.

СОСТОЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВОПРОСА ДО ИССЛЕДОВАНИЯ

На современном этапе в развитых странах накоплен большой опыт в оценке эффективности деятельности коммерческой организации, разработано большое количество подходов, которые делают акцент на определенных показателях. В одних подходах акцент расставлен на ключевой показатель, в других – на систему показателей, которые сбалансированы между собой, в-третьих – на оптимизационные модели. Изученные новые подходы к оценке эффективности бизнеса были сгруппированы в хронологическом порядке, они представлены на рисунке 1.

Несмотря на то, что представленные подходы возникли достаточно давно, широкое распро-

Рисунок 1 – Эволюция новых подходов к оценке эффективности бизнеса

Составлено автором.

странение в отечественной практике они получили лишь в настоящее время. Всестороннее изучение сущности каждого из подходов позволило определить их основополагающие показатели, а также выделить их преимущества и недостатки (таблица 1).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Исследование новых подходов к оценке эффективности бизнеса, их достоинств и недостатков позволили сделать следующие выводы об их особенностях:

– акцент на целевые показатели;

Таблица 1 – Сравнительная характеристика новых подходов к оценке эффективности, их преимущества и недостатки

Метод	Показатели	Преимущества	Недостатки
Бортовое табло (панель управления, Tableu de Bord)	Стратегический целевой показатель эффективности, который разбивается на ряд функциональных показателей для каждого структурного подразделения	- наличие финансовых и нефинансовых показателей в системе; - установление четких причинно-следственных связей между целевым и функциональными показателями	- неспособность гибко управлять стратегией; - зависимость целей от организационной структуры управления
Управление по целям (MBO)	Ключевые показатели эффективности (KPI) для каждой поставленной цели	- повышение уровня координации целей; - разграничение и усиления ответственности между специалистами	- сложность в объективной оценке достигнутых целей; - отсутствие заинтересованности и поддержки высшего руководства
Комплексный анализ данных (DEA)	Оптимизационная модель «затраты - ресурсы»	- не требует априорных предположений о спецификации производственной функции и распределении ошибок	- влияние случайных факторов, не учтенных в модели; - сложность в интерпретации значимости найденного решения
Оценка эффективности на основе ROCE и WACC	ROCE (рентабельность привлеченного капитала) и WACC (средневзвешенная стоимость привлеченного капитала)	- простота расчетов; - возможность производить сравнения эффективности различных организаций	- множественность расчета показателей; - невозможность учета инфляционных процессов
Оценка эффективности на основе EVA	Показатель добавленной экономической стоимости (EVA)	- видение направлений увеличения стоимости бизнеса не только с помощью воздействия на прибыль, но и за счет уменьшения задействованного капитала; - возможность сравнения с другими организациями	- множественность расчета показателей; - невозможность учета будущих денежных потоков
ССП Нортона-Каплана	Ключевые показатели по четырем аспектам: финансы, клиенты, внутренние бизнес-процессы, обучение и развитие персонала	- наличие финансовых и нефинансовых показателей в системе; - возможность комплексно оценить бизнес; - увязка текущих показателей со стратегией	- недостаточно проработаны причинно- следственные связи между показателями; - сложность в балансировке показателей системы
Пирамида эффективности	Финансовые и нефинансовые показатели, которые объединены в 9 блоков (рынок, финансы, удовлетворение клиентов, инновации и обучение, производительность, качество, время поставки, производственный цикл, потери)	- увязка стратегии организации с текущими финансовыми и нефинансовыми показателями эффективности; -наличие двухсторонних коммуникаций между разными уровнями организационной иерархии	- жесткая структура модели; - сложность в установлении связей между показателями

Окончание таблицы 1 – Сравнительная характеристика новых подходов к оценке эффективности, их преимущества и недостатки

Метод	Показатели	Преимущества	Недостатки
Оценка эффективности на основе прибыли до выплаты процентов, налогов и дивидендов (EBITDA)	Прибыль до выплаты процентов, налогов и дивидендов	- возможность проводить сравнение с организациями-аналогами или организация одного вида экономической деятельности; - простота расчета	- оценка эффективности бизнеса абсолютно; - не учитывается фактор инфляции; - не позволят учитывать масштабы деятельности организации
Оценка эффективности на основе рыночной добавленной стоимости (MVA)	Рыночная добавленная стоимость	- позволяет получить дисконтированную стоимость всех настоящих и будущих потоков; - простота расчета; - возможность проводить сравнения с другими организациями	-не учитывает альтернативные стоимости инвестированного капитала; - возможность оценить только деятельность акционерных обществ, так как в расчет принимается стоимость акций
Измерение достижений компании «Эрнст & Янг»	Система количественных показателей на оперативном уровне, заданных руководством как ключевые	- наличие количественных финансовых и нефинансовых показателей; - обеспечивает мотивацию менеджеров и частично мотивацию персонала; - обеспечивает поддержку управленческих решений	- показатели в системе не сбалансированы и не подчиняются единому показателю; - необходимость комбинирования с моделями стратегического управления
Призма эффективности (модель «Стейкхолдер»)	Ключевые показатели деятельности для каждой из заинтересованных сторон	- возможность учесть интересы различных заинтересованных лиц; - четко приведены критерии эффективности каждой из сторон	- наличие невзаимосвязанных показателей в призме; - несогласованность интересов различных собственников
Универсальная система показателей Рамперсада К. Хьюберт на основе ССП (TPS)	Личная система сбалансированных показателей; организационная система сбалансированных показателей	- возможность учитывать цели организации и личные интересы работников; - позволяет установить баланс между целями организации и целями работника; - позволяет учитывать, как стратегические, так и тактические цели	- глобальность и громоздкость модели; - трудоемкость в разработке показателей; -требует дополнительного механизма учета риска и неопределенности

Составлено автором по данным источников [1–11].

– оценка степени приближения к целевым показателям;

– гибкость применяемых систем показателей с учетом специфики деятельности конкретного бизнеса.

Вместе с тем использование данных подходов в условиях функционирования белорусских организаций затруднено вследствие ряда факторов:

– при применении таких подходов, как оценка эффективности на основе: ROCE и WACC, EVA, прибыли до выплаты процентов, налогов и дивидендов (EBITDA), рыночной добавленной стоимости (MVA), требуется наличие информации о рыночной стоимости акций, которая формируется на фондовом рынке. В Республике Беларусь фондовый рынок развит в недостаточной степени, что не дает возможности в полной мере оценить эффективность;

– при применении таких подходов, как Tableu

de Bord, управление по целям (MBO), ССП Нортона-Каплана, измерение достижений компании «Эрнст & Янг», универсальная система показателей Рамперсада К. Хьюберт на основе ССП (TPS), требуется наличие хорошо проработанного стратегического плана, наличие миссии. У большинства белорусских организаций система планирования направлена на тактический уровень.

Существует еще один фактор, сдерживающий использование рассмотренных методов, – недостаточность информационной базы. Качественные показатели рассмотренных методик достаточно субъективны и требуют наличия в организации высококвалифицированных специалистов в области стратегического менеджмента.

Поэтому для адаптации новых подходов на условиях белорусской экономики автором была предпринята попытка компилирования новых подходов с учетом преодоления имеющихся трудностей, выявленных в результате исследования.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ

Авторская методика основывается на базовых принципах, правилах и идеях следующих подходов к оценке эффективности бизнеса (рисунок 2).

Согласно ССП Нортона-Каплана вся деятельность организации включает четыре ключевых аспекта, а именно: отношения с потребителями, развитие, внутренние бизнес-процессы, финансы, которые оцениваются во взаимосвязи и при изменении одного из аспектов, изменяются другие. Измерение достижений компании «Эрнст & Янг» предполагает установление ключевых показателей для каждой области деятельности организации (ключевым аспектам). На наш взгляд, необходимо выделить еще 5-й аспект – связи с внешним миром, так как Республика Беларусь экспортоориентированная страна, в государственной политике которой уделяется большое внимание развитию сотрудничества с другими странами с целью увеличения валютной выручки и достижения положительного торгового баланса. Модель внутреннего рынка «Хьюлетт-Паккард» предполагает, что для получения комплексной оценки данные изображаются в виде лепестковой диаграммы.

Таким образом, авторская методика предполагает:

1) формирование 5-и ключевых областей деятельности организации, а именно: отношения с потребителями, развитие, внутренние бизнес-процессы, финансы, связи с внешним миром;

2) определение высшим руководством для каждой ключевой области 2-4 показателей, которые являются индикаторами для оценки достижения поставленных целей организации, актуальны для данного вида экономической деятельности и зависят от особенностей функционирования бизнеса;

3) расчет выбранных показателей в базисном и отчетном периодах, установление для них целевых (плановых) значений;

4) получение комплексного показателя области эффективности бизнеса.

При этом вначале определяется степень приближения к цели каждого частного показателя. Для показателей, рост которых означает повышение эффективности, расчет рекомендуется

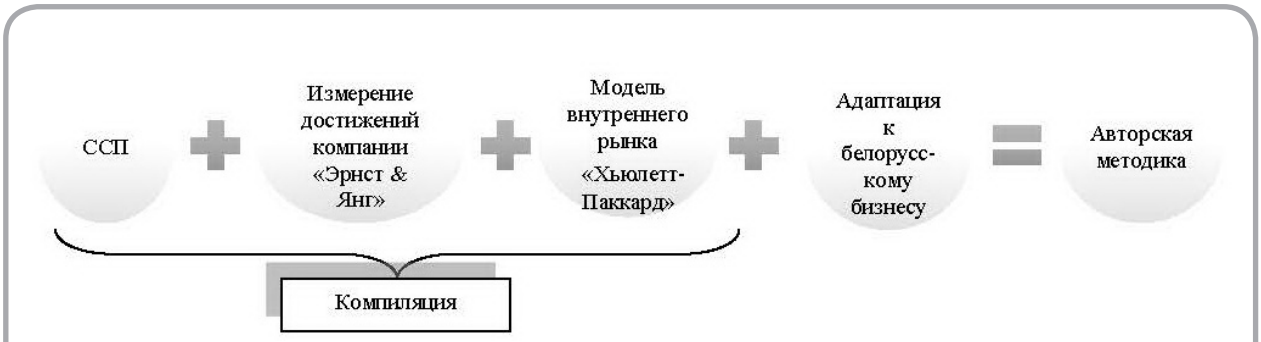


Рисунок 2 – Компиляция новых подходов к оценке эффективности бизнеса

Составлено автором.

проводить по формуле

$$\Delta fij = \frac{fij^{\Phi}}{fij^{пл}} - 1 , \qquad (1)$$

где Δf_{ij} – изменение фактора комплексного показателя; f_{ij}^{Φ} – фактическое значение i-го показателя j-ой области; $f_{ij}^{пл}$ – целевое (базисное; плановое) значение i-го показателя в j-ой области.

В свою очередь, для показателей, снижение которых означает повышение эффективности, расчет необходимо проводить по формуле

$$\Delta fij = 1 - \frac{fij^{\Phi}}{fij^{пл}} . \qquad (2)$$

При построении комплексного показателя для каждой области эффективности предполагается использовать формулу

$$Fj = \sqrt{\frac{\sum \Delta f^{2}{}_{ij} / n'}{\sum \Delta f'^{2}_{ij} / n''}} , \qquad (3)$$

где F_j – комплексный показатель j-ой области; Δf^{2}_{ij}, $\Delta f'^{2}_{ij}$ – изменение фактора из j-ой области; n' – количество факторов с положительной динамикой, n'' – количество факторов с отрицательной динамикой.

Возведение в квадрат, а затем извлечение квадратного корня позволяют абстрагироваться от знака отклонения. При этом в числитель попадают показатели, по которым достигнуты или превзойдены базовые значения, а в знаменатель – показатели, имеющие отрицательную тенденцию;

5) сравнение существующего положения организации и заданного в планах. Данные отображаются в виде лепестковой диаграммы, комплексный показатель эффективности рассчитывается как отношение фактической площади поверхности соответствующей лепестковой диаграммы к площади поверхности лепестковой диаграммы, построенной при плановых значениях. Площадь диаграммы является суммой площадей треугольников, образованных в лепестковой диаграмме. Площадь треугольников вычисляется по формуле (4)

$$S = \frac{1}{2} \times a \times b \times \sin(\alpha) , \qquad (4)$$

где S – площадь треугольника, см^2; a и b – длина сторон треугольника, см; α – угол между сторонами a и b ^{o}.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ

Апробация разработанной методики была проведена на примере организации, основным видом деятельности которой является производство обуви.

Показатели, отобранные для исследованной организации, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели для оценки эффективности исследуемой организации

Отношение с потребителями	**Развитие**	**Внутренние бизнес-процессы**	**Финансы**	**Связи с внешним миром**
Оборачиваемость оборотных средств	Коэффициент текучести	Ресурсоотдача	Коэффициент текущей ликвидности	Доля экспорта
Коэффициент расширения клиентской базы	Коэффициент соотношения заработной платы организации к заработной плате по виду экономической деятельности	Коэффициент годности	Рентабельность капитала	Доля инновационной продукции, поставляемая на внешний рынок в общем объеме продукции
Уровень запасов готовой продукции к среднемесячному объему производства	Коэффициент соотношения работников прошедших обучение к среднесписочной численности	Производительность труда	Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами	Коэффициент соотношения экспорта к импорту

Составлено автором.

Значения показателей организации по авторской методике приведены в таблице 3.

На основании данных таблицы 3 была построена лепестковая диаграмма с использованием пакета Microsoft Office Excel (рисунок 3).

Площадь диаграммы, построенной по фактически достигнутым показателям, составляет 12,64 см^2, по планируемым – 20,80 см^2. Тогда итоговый показатель эффекитвности составит

$$K = \frac{12,64}{20,80} = 0,61 \ . \qquad (5)$$

Сравнив площади можно сделать вывод, что организацией не были достигнуты целевые значения на 39 %.

ПРЕИМУЩЕСТВА РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

Разработанная методика имеет ряд преимуществ по сравнению с другими:

– основывается на базовых принципах, правилах и идеях новых подходов к оценке эффективности;

– в сущность эффективности во главу угла ставит достижение целей (плановых показателей), а не соизмерение результата к затратам;

– позволяет организации учитывать ее особенности, разработанные стратегические цели;

– количественно оценивает эффективность,

Таблица 3 – Значения комплексных показателей, рассчитанных по авторской методике

Наименование областей	Значения комплексных показателей	
	достигнутые	планируемые
Отношения с потребителями	0,40	0,73
Развитие	0,91	0,70
Внутренние бизнес-процессы	0,24	0,37
Финансы	0,42	0,49
Связи с внешним миром	0,38	0,56

Составлено автором.

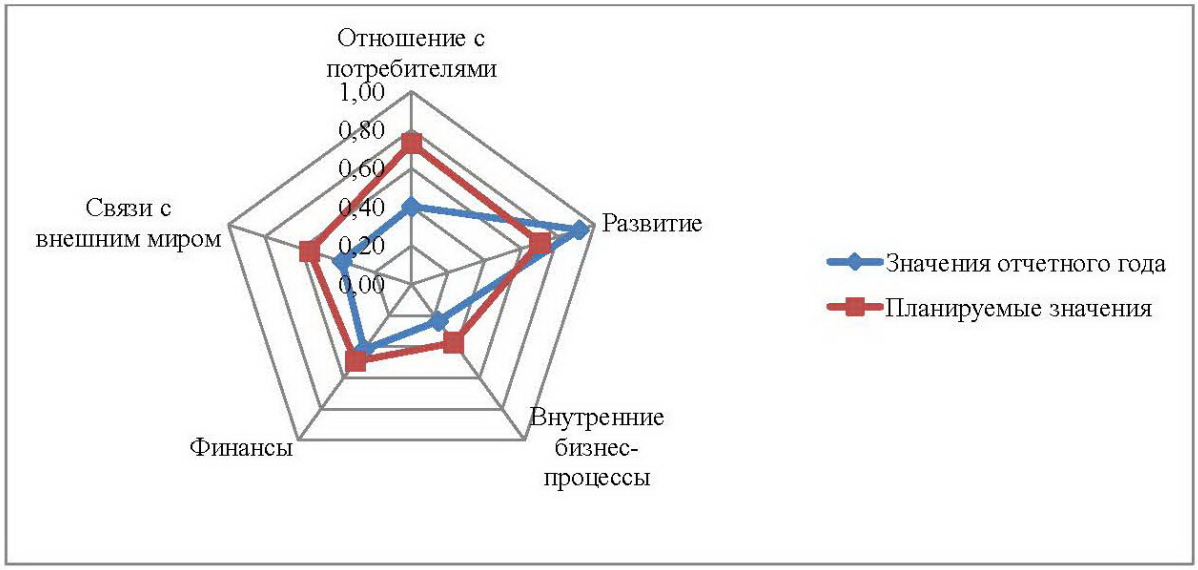


Рисунок 3 – Лепестковая диаграмма для комплексной оценки эффективности деятельности организации

Составлено автором.

что исключает субъективизм;

– позволяет комплексно оценить эффективность деятельности организации.

ВЫВОД

Таким образом, применение предложенного авторского подхода позволяет отойти от традиционного затратно-ресурсного понимания эффективности и позволяет по-новому взглянуть на данную категорию с точки зрения целевого подхода, что дает организации большую гибкость для ее управления, способность быстрее реагировать на изменения во внешней среде и учитывать специфические особенности ее деятельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богуславская, С. Б. (2011), *Системное стратегическое управление компанией: подходы и этапы постановки*, Санкт-Петербург, Изд-во Политехн. ун-та, 170 с.

2. Гималтдинова, Л. А. (2010), Анализ основных концепций оценки эффективности действующей компании, *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук,* 2010, С. 87–88.

3. Градобоев, Е. В. (2007), Проблема классификации методов оценки эффективности функционирования предприятия, *Известия Иркутской государственной экономической академии*, 2007, № 2, С. 59–61.

4. EBITDA. Прибыль до уплаты налогов, расходов на амортизацию и процентов по кредитам, [Электронный ресурс], Режим доступа: http://afdanalyse.ru/publ/finansovyj_analiz/1/ebitda/15-1-0-61, Дата доступа: 11.08.2017.

5. EY – building a better working world, (2017), available at: http://www.ey.com (accessed 11th August 2017).

6. Жуковская, Н. Ю. (2011), EVA как инструмент управления стоимостью предприятия, *Вестник*

REFERENCES

1. Boguslavskaya, S. B. (2011), *Sistemnoe strategicheskoe upravlenie kompaniey: podhodyi i etapyi postanovki* [Systematic strategic management of the company: approaches and stages of setting], St. Petersburg, Polytechnic. un-ty Publ., 170 p.

2. Gimaltdinova, L. A. (2010), Analysis of the main concepts of the effectiveness evaluation of the operating company [Analiz osnovnyih kontseptsiy otsenki effektivnosti deystvuyuschey kompanii], *Aktualnyie problemyi gumanitarnyih i estestvennyih nauk – Actual problems of the humanities and natural sciences*, 2010, pp. 87–88.

3. Gradoboev, E. V. (2007), The problem of classification of methods for assessing the performance of an enterprise [Problema klassifikatsii metodov otsenki effektivnosti funktsionirovaniya predpriyatiya], *Izvestiya Irkutskoy gosudarstvennoy ekonomicheskoy akademii – Izvestiya of the Irkutsk State Economic Academy*, 2007, № 2, pp. 59–61.

4. EBITDA. Pribyil do uplatyi nalogov, rashodov na amortizatsiyu i protsentov po kreditam [EBITDA. Profit before taxes, depreciation and interest on loans], (2017), available at: http://afdanalyse.

СГУТиКД, 2011, № 3, С. 46–50.

7. Каплан, Р. С., Нортон, Д. П. (2003), *Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию*, Москва, Олимп-Бизнес, 214 с.

8. Леднев, Е. Е. (2002), BSC и EVA – конкуренты или союзники, [Электронный ресурс], Режим доступа: http://www.iteam.ru/publications/strategy/section_27/article_1197/, Дата доступа: 11.08.2017.

9. Madden, B. (1999), *CFROI valuation – a total system approach to valuing the firm, Oxford: Butterworth-Heinemann*, 356 p.

10. Попов, Д. (2003), Эволюция показателей стратегии развития предприятия, *Управление компанией*, 2003, № 2, С. 66–76.

11. Якубович, М. А. (2005), Проблемы оценки эффективности функционирования компаний, *Планово-экономический отдел*, 2005, № 1, С. 78–81.

ru/publ/finansovyj_analiz/1/ebitda/15-1-0-61 (accessed 11th August 2017).

5. EY – building a better working world, (2017), available at: http://www.ey.com (accessed 11th August 2017).

6. Zhukovskaya, N. Yu. (2011), EVA as an enterprise value management tool [EVA kak instrument upravleniya stoimostyu predpriyatiya], *Vestnik SGUTiKD – Bulletin SGUTiKD*, 2011, № 3, pp. 46–50.

7. Kaplan, R. S., Norton, D. P. (2003), *Balanced scorecard. From strategy to action* [Sbalansirovannaya sistema pokazateley. Ot strategii k deystviyu], Moscow, Olimp-Business Publ., 214 p.

8. Lednev, E.E. (2002), BSC i EVA – konkurentyi ili soyuzniki [BSC and EVA - competitors or allies], available at: http://www.iteam.ru/publications/strategy/section_27/article_1197/ (accessed 11th August 2017).

9. Madden, B. (1999), *CFROI valuation – a total system approach to valuing the firm*, Oxford: Butterworth-Heinemann Publ., 356 p.

10. Popov, D. (2003), Evolution of enterprise development strategy indicators [EHvolyuciya pokazatelej strategii razvitiya predpriyatiya], *Upravlenie kompaniej – Company management,* 2003, № 2, pp. 66–76.

11. Yakubovich, M. A. (2005), The problems of assessing the performance of companies [Problemy ocenki ehffektivnosti funkcionirovaniya kompanij], *Planovo-ehkonomicheskij otdel – Planning and Economic Department*, 2005, № 1, pp. 78–81.

Статья поступила в редакцию 04. 10. 2017 г.

ЭКОНОМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ РИСКА МОЛОДЕЖНОЙ БЕЗРАБОТИЦЫ

ECONOMETRIC ESTIMATION OF INDIVIDUAL RISKS OF YOUTH UNEMPLOYMENT

УДК 331.56

О.В. Зайцева*
Витебский государственный технологический университет

O. Zaitseva*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МОЛОДЕЖНАЯ БЕЗРАБОТИЦА, ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РИСКИ БЕЗРАБОТИЦЫ, ЗАНЯТОСТЬ, БЕЗРАБОТИЦА

В статье изучается влияние индивидуальных характеристик молодежи (пол, возраст, уровень образования, место жительства, профессиональная принадлежность, наличие второй специальности, владение иностранными языками) на риск безработицы с использованием биноминальной логит-регрессии.

Эмпирическую основу проведенного исследования составили данные опроса молодежи в возрасте 16–29 лет, полученные в рамках научно-исследовательской работы «Предупреждение молодежной безработицы в приграничных регионах Латвии и Беларуси в условиях выхода из кризиса», проводимой специалистами Витебского государственного технологического университета (Республика Беларусь) при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований.

В результате оценок коэффициентов модели индивидуальных факторов риска существенного влияния используемых регрессоров на вероятность безработицы не выявлено. Это позволило сделать вывод о том, что индивидуальные характеристики молодежи Витебской области существенно не влияют на безработицу среди них, а также говорит о том, что причины молодежной безработицы кроются во внешних факторах.

ABSTRACT

YOUTH UNEMPLOYMENT, INDIVIDUAL DETERMINANTS OF UNEMPLOYMENT, EMPLOYMENT, UNEMPLOYMENT

TThe article presents the results of the econometric estimation of the influence of the individual characteristics of youth (sex, age, education, profession etc.) on unemployment using binomial logit regression. The analysis was based on the survey of youth aged 16–29 years in the Vitebsk region. The survey was carried out within the framework of the research work «Prevention of youth unemployment in the border regions of Latvia and Belarus in conditions of overcoming the crisis», conducted by specialists of the Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus) with financial support of the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research.

As a result of the study, the significant effect of the regressors on the probability of unemployment was not revealed.

Молодежная безработица является одной из основных проблем не только отдельных государств, но и всего мирового сообщества в целом. За последние пять лет в связи с экономическим кризисом она сильно увеличилась во многих странах мира. Уровень безработицы среди моло-

* E-mail: *olgazaiitseva@gmail.com* (O. Zaitseva)

дежи в большинстве стран как минимум вдвое превышает общий уровень безработицы (рисунок 1). По данным Всемирного банка уровень молодежной безработицы в мире по состоянию на 2016 год составил 13,6 %, в то время как общий уровень безработицы составляет порядка 5,7 % [1]. Такая ситуация объясняется тем, что рынок труда молодежи как сегмент совокупного рынка труда имеет свою специфику в механизмах формирования спроса, предложения на нем и институциональном строении.

В связи с тем, что рынок труда часто предъявляет высокие требования к претендентам на вакантные рабочие места, менее конкурентоспособными в данном случае оказываются молодые люди. Низкая конкурентоспособность молодежи обусловлена несоответствием квалификации требованиям рынка труда, отсутствием трудового стажа, низкой восприимчивостью к соблюдению норм трудовой дисциплины, формальной обязанностью работодателей предоставлять гарантированный минимум (согласно законодательству) льгот, действие которых ставит эти субъекты в невыгодное положение на рынке труда.

Безработица особенно пагубно влияет на молодежь, поскольку она приводит к утрате знаний и умений, приобретенных в процессе обучения в учреждениях образования, к потере трудового опыта (если таковой имелся), снижению трудоспособности, доходов и так далее.

Различные аспекты занятости, трудоустройства и безработицы молодежи находят отражение в многочисленных исследованиях ученых, международных организаций, аналитических центров и служб содействия занятости. Поэтому проблемы молодежной безработицы остаются крайне актуальными.

На наш взгляд, при исследовании молодежной безработицы немаловажным является выявление факторов, обусловливающих положение молодежи на рынке труда, а также степени влияния данных факторов на риск безработицы.

Риск безработицы является производным риском и зависит как от индивидуальных факторов, например, уровня образования, пола, образования, личностных характеристик индивида, его способностей, выбранной специальности, стажа, опыта трудовой деятельности, так и от внешних – экономического состояния региона и состояния рынка труда (отсутствие вакансий по профессии по месту жительства, структурные диспропорции на рынке труда), кризисных явлений в экономике, бюджетной и налоговой политики, модернизации и автоматизации производства и т. д.

Целью данного исследования является оценка влияния индивидуальных характеристик молодежи на риск безработицы.

Эмпирическую основу проведенного иссле-

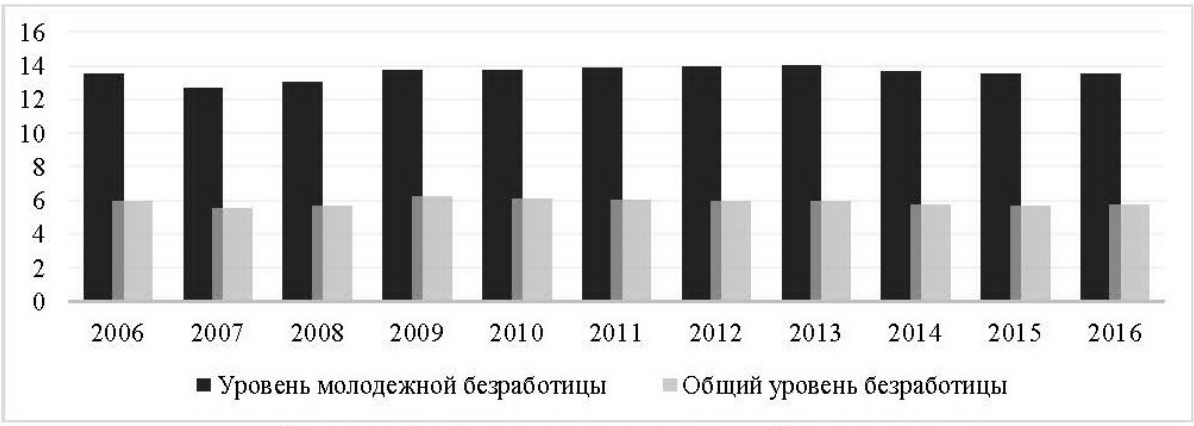


Рисунок 1 – Динамика уровня безработицы в мире

Источник: составлено автором по [1].

дования составили данные опроса молодежи Витебской области в возрасте 16–29 лет в количестве 307 человек [2, с. 52], полученные в рамках научно-исследовательской работы «Предупреждение молодежной безработицы в приграничных регионах Латвии и Беларуси в условиях выхода из кризиса», проводимой специалистами Витебского государственного технологического университета (Республика Беларусь) при финансовой поддержке Белорусского Республиканского фонда фундаментальных исследований. Для обеспечения репрезентативности опроса структура выборочной совокупности была приведена в соответствие со структурой генеральной совокупности (населения в возрасте от 15 до 29 лет Витебской области Республики Беларусь) по полу, возрасту, месту проживания в регионе (город – село) [2, с. 54].

Согласно результатам проведенного опроса, уровень занятости и безработицы молодежи Витебской области, рассчитанный по методологии Международной организации труда [3], составил 36,8 %, и 10,3 % соответственно.

Анализ структуры безработных выявил следующие особенности. Среди безработных существуют определенные различия по социально-демографическим группам:

– наиболее подвержены безработице женщины (69,2 %);

– безработная молодежь в основном проживает в городской местности (92,3 %);

– средний возраст безработных составил 24,8 года;

– более половины безработных (61,5 %) не состоят в браке, не имеют детей. Одного ребенка имеют 30,8 % безработных, двух детей имеет один человек (7,7 %).

В общем количестве безработных наибольший удельный вес составляют лица со средним специальным образованием (38,5 %) и средним (30,8 %). Молодых людей с высшим образованием 23,1 % (рисунок 2).

Планы на получение образования у безработных распределились следующим образом: 9 человек (69,2 %) планируют получить высшее образование, из них 2 – сначала высшее, а затем и второе высшее; 1 человек (7,7 %) планирует получить второе высшее; 3 человека (23,1 %) – пройти переподготовку (получить другую профессию, специальность).

В структуре безработных преобладают молодые люди, обучающиеся в данный момент на заочном отделении вуза – 69,2 %.

Среди причин ухода с предыдущей работы в равной степени названы различные причины: сокращение либо закрытие организации, окончание срока контракта, не устраивали условия работы (график, удаленность от дома и т. д.), переезд на другое место жительства, семейные обстоятельства (рождение ребенка, вступление в

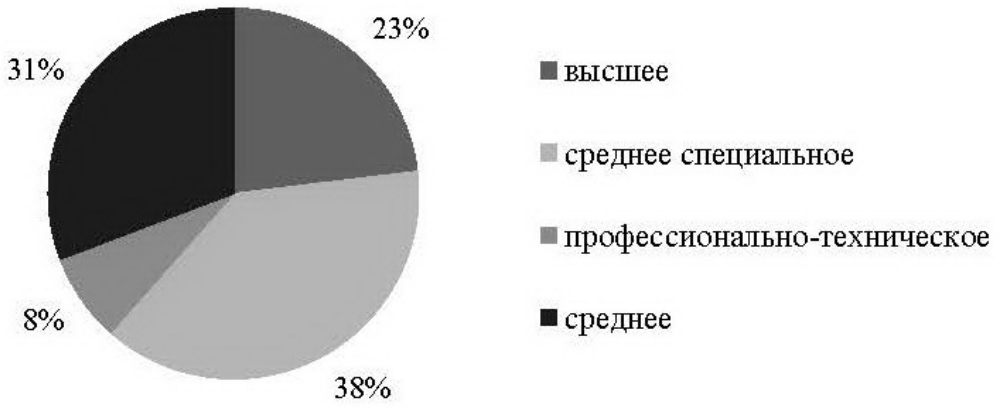


Рисунок 2 – Распределение безработных по уровню образования

Источник: составлено автором.

брак, уход за членами семьи, ведение домашнего хозяйства и т. д.), наличие возможности перестать работать и другие причины.

Средняя продолжительность поиска работы составила 8,3 месяца. Основными каналами поиска работы безработные назвали: газеты, СМИ, Интернет (все респонденты), обращение к друзьям, родственникам (69,2 %), 4 человека из 13 (30,7 %) обращались непосредственно к администрации (нанимателю), и только 2 человека (15,4 %) обращались в службу занятости.

Среди трудностей в поиске работы респонденты указали отсутствие стажа, отсутствие вакансий по профессии по месту жительства, нежелание работодателя брать на себя обязательства по обеспечению гарантий и прав выпускника учреждения образования, имеющего статус молодого специалиста, возрастную дискриминацию, нежелание работодателей инвестировать в молодого специалиста для формирования у него необходимых компетенций, невозможность получить работу из-за отсутствия гражданства в другой стране (рисунок 3).

С полной рабочей неделей хотели бы работать большинство безработных (69,2 % безработных или 9 человек), трудиться на условиях неполной занятости – 1 человек (или 7,7 %), 15,4 % (или 2 человека) хотели бы организовать собственное дело, такое же количество готовы приступить к любой работе.

В области содействия трудоустройству безработные в основном рассчитывают на собственные силы, нейтрально относятся к помощи родителей и знакомых, кадрового агентства, и незначительно – к помощи государственной службы занятости.

Для повышения шансов на трудоустройство безработные в основном планируют получить вторую специальность (46,2 %), 3 человека (или 23,1 %) планируют повысить квалификацию, такое же количество не планирует проходить профессиональное обучение или переподготовку.

Среди опрошенных только 3 человека (или 23,1 %) зарегистрированы в службе занятости. По мнению опрошенных, служба занятости не оказывала никакой помощи (в трудоустройстве, в обучении или переобучении, или в психологической помощи).

Безработные в основном имеют инженерно-экономические или управленческие специальности (8 человек), два человека являются продавцами по диплому, один человек – оператор ЭВМ. Второй специальностью владеет 5 человек. Специальности по вторым дипло-

Рисунок 3 – Трудности в поиске работы

Источник: составлено автором.

мам разнообразные: бульдозерист, бухгалтер, контроллер-кассир, монтажник радиоаппаратуры, техник-экономист и др.

Молодые люди оценивают уровень своего профессионального мастерства в основном на среднем уровне (рисунок 4).

В течение последнего года обучались на рабочем месте (на профессиональных курсах, курсах повышения квалификации, иностранных языков или других курсах) 23,1 % (или 3 человека).

Иностранным языком владеет большинство опрошенных безработных (10 человек из 13, или 76,9 %). Но в основном их уровень находится в пределах возможности изъясняться, читать и переводить со словарем (61,5 %).

По мнению опрошенных, для получения желаемой работы им не хватает профессиональных навыков (их отметило большинство респондентов). Также среди таких навыков респондентам не хватает: владения языками и навыков работы со специальными пакетами прикладных программ.

В результате анализа данных, полученных в ходе опроса молодежи, был сформирован определенный портрет безработного, однако данные результаты не позволяют судить о характере взаимосвязи между индивидуальными характеристиками молодежи и статусом занятости.

Для оценки влияния индивидуальных характеристик молодежи на риск безработицы был применен инструментарий моделей бинарного выбора.

Поскольку зависимой переменной в данном случае является статус занятости, который принимает только два значения (значение 1, если респондент – безработный, и 0 – если респондент является занятым), то целесообразным представляется использование логистической регрессии, так как она позволяет исследовать зависимость бинарных (дихотомических) переменных от независимых переменных.

Логистическая регрессия применяется для предсказания вероятности возникновения некоторого события по значениям множества признаков. Вероятность наступления события $y=1$ равна [4, p. 458]:

$$P(y=1/x)=f(z)=\frac{1}{1+e^{-z}}, \quad (1)$$

где P – вероятность того, что произойдет интересующее событие; e – основание натуральных логарифмов 2,71.. ; z – стандартное уравнение множественной линейной регрессии.

В общем случае модель множественной линейной регрессии задается следующим уравнением [4, p. 454]:

$$z=\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\cdots+\beta_ix_i, \quad (2)$$

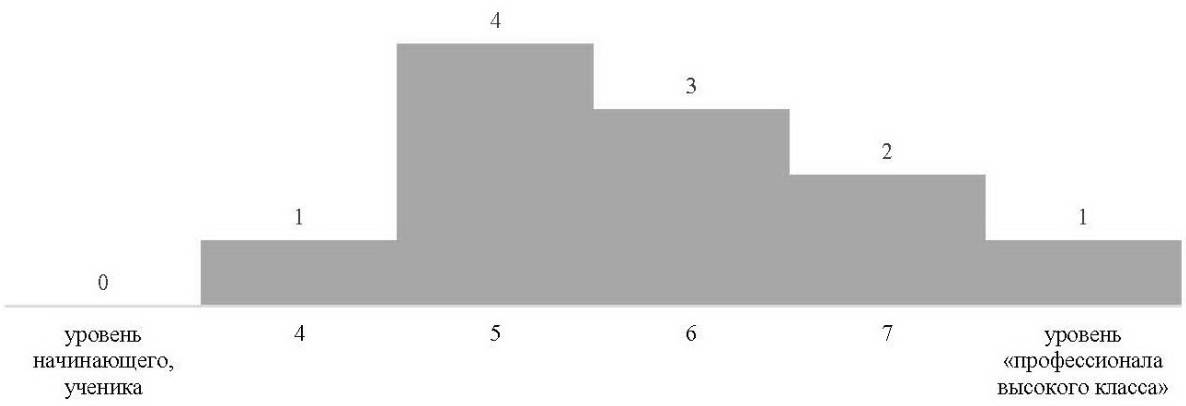


Рисунок 4 – Лестница профессионального мастерства

Источник: составлено автором.

где x_i – значения независимых переменных в i-том наблюдении; β_i – коэффициенты регрессии, характеризующие степень влияния на зависимую переменную; β_0 – точка пересечения с осью ординат (даёт при экспоненцировании отношение рисков наступления события в том случае, когда отсутствуют какие-либо факторы).

В нашем случае набор независимых переменных включает: пол, образование (высшее, среднее специальное, профессионально-техническое, среднее, базовое, начальное), тип населенного пункта (городская местность, сельская местность), профессиональную принадлежность (технические специальности, экономические специальности, гуманитарные специальности, естественно-научные специальности), владение иностранным языком (lng).

Статистическая обработка результатов была проведена с использованием программного продукта R-studio.

Результаты оценки логит-модели представлены в таблице 1.

В результате получена линейная регрессионная модель следующего вида:

$$z = 0{,}29 + 1{,}31x_1 + 0{,}49x_2 - 17{,}54x_3 + \\ + 0{,}76x_4 + 0{,}79x_5 - 0{,}36x_6 - 18{,}03x_7 + \\ + 0{,}41x_8 - 1{,}22x_9 + 1{,}4x_{10}\,. \qquad (3)$$

Поскольку коэффициенты β регрессии плохо поддаются прямой интерпретации, на их основе были рассчитаны предельные эффекты (производные вероятности) для двух альтернативных состояний занятости. Оценки предельных эффектов показывают, как в среднем (на сколько процентных пунктов) меняется вероятность того или иного исхода (искомого значения зависимой переменной) по сравнению с базовым исходом при изменении независимой переменной на единицу при условии, что все остальные независимые переменные зафиксированы на уровне средних по выборке. Обычно предельные эффекты считаются для среднего значения каждого регрессора.

Полученные значения предельных эффектов представлены в таблице 2.

С учетом расчета предельных эффектов получена линейная регрессионная модель следую-

Таблица 1 – Детерминанты вероятности попасть в статус безработного, логит-модель

Независимые переменные	Обозначение	Коэффициент β_i	Статистическая ошибка	z-статистика	$Pr(>\|z\|)$
Точка пересечения (intercept)	β_0	0.2882	3.6269	0.079	0.9367
Пол (2 – женщины)	x_1	1.3089	0.7579	1.727	0.0842
Гуманитарные специальности	x_2	0.4943	0.9901	0.499	0.6176
Естественно-научные специальности	x_3	-17.5384	10754.0130	-0.002	0.9987
Технические специальности	x_4	0.7631	0.9540	0.800	0.4238
Экономические специальности	x_5	0.7979	0.7070	1.128	0.2591
Среднее специальное образование	x_6	-0.3696	0.8316	-0.444	0.6567
ПТ образование	x_7	-18.0300	2119.3591	-0.009	0.9932
Среднее образование	x_8	0.4143	1.0795	0.384	0.7011
Тип населенного пункта (1 - городская местность)	x_9	-1.2187	0.9781	-1.246	0.2128
Владение иностранным языком (1 – да)	x_{10}	1.4033	0.8918	1.574	0.1156

Источник: составлено автором.

щего вида:

$$z = 0{,}01 + 0{,}004x_1 + 0{,}002x_2 - 0{,}004x_3 + \\ + 0{,}002x_4 + 0{,}003x_5 - 0{,}001x_6 - 0{,}077x_7 + \\ + 0{,}002x_8 - 0{,}007x_9 + 0{,}004x_{10}\,. \qquad (4)$$

Таким образом, исходя из полученного уравнения регрессии, можно сделать следующие выводы:

1. Вероятность попасть в статус безработного для женщины выше, чем для мужчины на 0,4 %.

2. Лица с профессионально-техническим образованием менее подвержены риску безработицы, чем лица с высшим образованием (вероятность ниже на 7,7 %).

3. Наличие среднего специального образования снижает риск на 0,1 % по сравнению с высшим, а среднее образование – повышает на 0,2 %.

4. Наличие гуманитарной, экономической или технической специальности повышает вероятность быть безработным на 0,2–0,3 %, наличие диплома в области естественно-научных специальностей снижает риск на 0,4 %.

5. Вероятность стать безработным снижается среди молодых людей, проживающих в городской местности (на 0,7 %).

В результате оценок коэффициентов модели индивидуальных факторов риска безработицы существенного влияния используемых регрессоров на вероятность безработицы не наблюдается. Это свидетельствует о том, что индивидуальные факторы не влияют на риск безработицы.

Таким образом, можно предположить, что молодежь становится безработной по независящим от них причинам, общим для всех. Это говорит о том, что молодежная безработица в Витебской области обусловлена в основном внешними причинами.

Следовательно, в целях снижения уровня безработицы среди молодежи необходимо:

1. Повышать качество кадрового потенциала молодежи посредством роста качества образования, активизации производственных практик, развития системы занятости во время обучения.

2. Расширять использование отдельных нестандартных форм занятости, таких как фриланс, дистанционная, временная, неполная занятость, учитывая их преимущества для молодежи, а также возможные негативные последствия [5].

3. Создавать условия для работодателей, стимулирующих прием молодежи на работу.

4. Принимать меры по устранению несоответствия структуры спроса и предложения на рынке труда и другие.

Таблица 2 – Оценки предельных эффектов для двух альтернативных состояний занятости

Независимые переменные	**Коэффициент β_i**	**Ошибка**	**t-значение**	**p-значение**
(Intercept)	0,001	0,360	0,003	0,998
x_1	0,004	1,690	0,003	0,998
x_2	0,002	0,718	0,003	0,998
x_3	-0,004	1,402	-0,003	0,998
x_4	0,002	0,967	0,003	0,998
x_5	0,003	1,126	0,003	0,998
x_6	-0,001	0,453	-0,003	0,998
x_7	-0,077	5,765	-0,013	0,989
x_8	0,002	0,614	0,003	0,998
x_9	-0,007	2,609	-0,003	0,998
x_{10}	0,004	1,645	0,003	0,998

Источник: составлено автором.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. База данных Всемирного банка (2017), режим доступа: https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.ZS?end=2016&start=2006&view=chart – (дата доступа: 18.10.2017)

2. Ванкевич, Е. В., Коробова, Е. Н., Зайцева, О. В., Лавриненко, О. Я., Меньшиков, В. В., Охотина, А. В. (2017), *Молодежная безработица приграничных регионов: опыт компаративного анализа : монография под науч. ред. Е. В. Ванкевич*, Витебск, УО «ВГТУ», 157 с.

3. Методология МОТ по расчету уровня безработицы (2017), режим доступа: http://www.ilo.org/ilostat-files/Documents/description_UR_EN.pdf (дата доступа: 18.10.2017)

4. Wooldridge, J. M. (2011), Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 735 p.

5. Ванкевич, Е. В., Зайцева, О. В. (2015), Нестандартная занятость: сущность, формы, масштабы, регулирование, *Белорусский экономический журнал*, 2015, № 3, С. 129–146.

REFERENCES

1. Baza dannyh Vsemirnogo banka (2017), rezhim dostupa: https://data.worldbank.org/indicator/SL.UEM.TOTL.ZS?end=2016&start=2006&view=chart – (data dostupa: 18.10.2017)

2. Vankevich, E. V., Korobova, E. N., Zaytseva, O. V., Lavrinenko, O. Ya., Menshikov, V. V., Ohotina, A. V. (2017), Molodezhnaya bezrabotitsa prigranichnyih regionov: opyit komparativnogo analiza : monografiya pod nauch. red. E. V. Vankevich, Vitebsk, UO «VGTU», 157 s.

3. Metodologija MOT po raschetu urovnja bezraboticy (2017), rezhim dostupa: http://www.ilo.org/ilostat-files/Documents/description_UR_EN.pdf (data dostupa: 18.10.2017)

4. Wooldridge, J. M. (2011), *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data,* The MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England, 735 p.

5. Vankevich, E. V., Zajceva, O. V. (2015), Nonstandard employment: essence, forms, scales, regulation [Nestandartnaja zanjatost': sushhnost', formy, masshtaby, regulirovanie], *Belorusskij jekonomicheskij zhurnal – Belarusian Economic Journal*, 2015, № 3, S. 129–146.

Статья поступила в редакцию 23. 10. 2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ АСПЕКТОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

STUDY OF THE RELATIONSHIP ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND INNOVATIVE ACTIVITY OF INDUSTRIAL ORGANIZATIONS

УДК 658.152

Т.В. Касаева*, О.Г. Цынкович
Витебский государственный технологический университет

T. Kasayeva*, O. Tsynkovich
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, ИННОВАЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ИННОВАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ИННОВАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА, ИНДЕКСНЫЙ МЕТОД, СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ, МАТРИЦА ВЗАИМОСВЯЗИ АСПЕКТОВ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ И ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предметом исследования является взаимосвязь инновационной деятельности и устойчивого развития коммерческой организации как в целом, так и в разрезе отдельных аспектов рассматриваемых процессов. Целью работы является оценка степени влияния инновационной деятельности на устойчивое развитие организации, в том числе на его экономическую, экологическую и социальную составляющие. Объектом исследования послужили промышленные организации г. Витебска.

Рабочая гипотеза исследования: инновационная деятельность коммерческой организации и ее элементы – инновационный потенциал, инновационная активность и результативность инновационной деятельности – оказывают различное влияние на отдельные аспекты устойчивого развития организации.

Разработаны системы показателей для характеристики взаимосвязанных процессов: инновационной деятельности организации и её устойчивого развития. Для получения количе-

ABSTRACT

SUSTAINABLE DEVELOPMENT, ECONOMIC DEVELOPMENT, SOCIAL DEVELOPMENT, ENVIRONMENTAL DEVELOPMENT, INNOVATION, INNOVATIVE POTENTIAL, INNOVATIVE ACTIVITY, EFFICIENCY OF INNOVATION, INTEGRATED ASSESSMENT, INDEX METHOD, STATISTICAL METHODS FOR STUDYING THE RELATIONSHIP, THE MATRIX RELATIONSHIP ASPECTS OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND INNOVATION

The subject of study is the relationship of innovation and sustainable development of a commercial organization as a whole and in individual aspects of these processes. The aim is to estimate the degree of innovation impact on the sustainable development of the organization, including its economic, environmental and social components. Object of research is industrial organizations of Vitebsk.

The working hypothesis of the study: innovative activity of the commercial organization and its elements: innovative potential, innovative activity and effectiveness of innovation have different effects on some aspects of sustainable development of the organization.

A system of indicators is developed to describe the interrelated processes: the innovation activities of the organization and its sustainable development. For quantitative characteristics of the studied processes authors designed a matrix of the relationship aspects of sustainable development and innovation organizations.

The results obtained allowed to establish the re-

* E-mail: *kasaevaTV@mail.ru* (T. Kasayeva)

ственных характеристик изучаемых процессов разработана матрица взаимосвязи аспектов устойчивого развития и инновационной деятельности организации.

Полученные результаты позволили установить сложившиеся взаимосвязи между исследуемыми явлениями как в целом, так и в разрезе отдельных их составляющих. В результате проведенных исследований получены следующие основные выводы: во-первых, наиболее сильное влияние на устойчивое развитие промышленных организаций оказывает их инновационный потенциал; во-вторых, инновационная деятельность в значительной мере влияет на экономическое и экологическое развитие объектов исследования и в наименьшей степени – на их социальное развитие. Следовательно, для обеспечения сбалансированного устойчивого развития промышленных организаций города Витебска необходимо акцентировать внимание на социальной составляющей инновационных процессов.

lationship existing between the studied phenomena, both as a whole and in the context of their individual components.

As a result of studies the following conclusions were obtained. Firstly, innovative potential has the most powerful influence on the sustainable development of industrial organization. Secondly, innovation has a significant impact on the economic and environmental development of objects of research and to a lesser extent on their social development. Consequently, the social component of innovation processes needs focusing on to ensure a balanced and sustainable development of industrial organizations of Vitebsk.

АКТУАЛЬНОСТЬ ПРОБЛЕМЫ

Мировая экономика последних десятилетий доказала, что в обеспечении устойчивого развития стран, регионов, отдельных экономических субъектов инновации сыграли ключевую роль, обеспечивая лидерам инновационных процессов значительные конкурентные преимущества. В современной экономической науке большинство авторов определяют инновационную деятельность бизнеса как фактор его устойчивого развития, хотя в научных разработках фигурируют и альтернативные мнения: инновации нарушают устойчивость экономических систем [1]. С другой стороны, сбалансированное устойчивое развитие коммерческих организаций, в том числе и промышленных, должно обеспечивать в равной степени не только развитие непосредственно бизнеса (экономическая составляющая стратегии устойчивого развития), но и индивидуума, и общества в целом (социальная и экологическая составляющие).

Приоритеты в формировании инновационных стратегий регионов и видов экономической деятельности могут приводить к тому, что направления и характер взаимосвязей отдельных аспектов устойчивого развития с показателями инновационной деятельности экономических субъектов будут существенно отличаться. Следовательно, для управления бизнесом с позиции стратегии устойчивого развития в условиях становления инновационной экономики необходимо исследовать взаимосвязь между указанными явлениями, в том числе дать её количественную характеристику.

Таким образом, актуальность темы исследования основана на взаимосвязи и взаимообусловленности двух наиважнейших процессов современной экономики Республики Беларусь:

– с одной стороны, переход на инновационный путь развития, который рассматривается как способ повышения конкурентоспособности и устойчивого экономического развития;

– с другой стороны, обеспечение устойчивого развития экономических субъектов, неотъемлемым условием которого является активизация инновационных процессов.

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Теоретическим и методическим вопросам устойчивости и устойчивого развития организации посвятили свои работы ученые-экономисты:

А. В. Алексеевский, К. Д. Анциферов, Ю. О. Бакрунов, С. Е. Бирюков, В. Н. Булгаков, О. В. Бусоргина, С. Р. Древинг, А. А. Колобова, В. С. Колосов, В. И. Корниенко, С. Коули, А. В. Кытманов, Н. П. Масленникова, Е. В. Некрасова, И. Н. Омельченко, Н. М. Петрищенко, Д. Уайт, С. В. Царева и др. Несмотря на тот факт, что все эти учёные работали в разных направлениях, предложенная каждым из них концепция устойчивого развития базируется на триединой концепции, сформированной в начале XX в. [2, с. 37]. Согласно этой концепции, все субъекты экономики необходимо рассматривать как социо-эколого-экономические системы [3, с. 9–10]. Само по себе благоприятное экономическое развитие, выражающееся в быстрых темпах экономического роста, не обеспечивает устойчивого развития, сбалансированного во всех трех аспектах (экономическом, социальном и экологическом) [4]. Именно интегративное взаимодействие трех эффектов приводит к желаемому состоянию – гармоничному развитию организации в долгосрочной перспективе. Данной точки зрения придерживаются такие учёные, как В. В. Белояров, В. И. Кудашов, Т. Е. Мельник, Э. П. Мусаева, С. Ю. Чмель [5, 6].

Вместе с тем ряд авторов при рассмотрении вопросов устойчивого развития организации в большей степени акцентируют своё внимание на одной из составляющих.

Например, такие учёные как В. Г. Горшков, В. А. Василенко, К. Я. Кондратьев, К. С. Лосев, Н. Н. Моисеев, А. Л. Романович, А. Д. Урсул при трактовке устойчивого развития организации во главу угла ставят экологическую составляющую данного определения [7, 8]. Н. Н. Витковская, В. А. Медведев, А. В. Севостьянова и другие во главу угла ставят финансовую составляющую данной категории, не обращая внимания на другие переменные [9, 10].

На сегодняшний день у экономистов, работающих над проблемой установления взаимосвязи между устойчивым развитием организации и её инновационной деятельностью, не выработано единой точки зрения на причинно-следственный характер взаимовлияния рассматриваемых категорий. Так, большинство учёных сходятся во мнении, что инновационная деятельность не только способствует, но и обеспечивает устойчивое развитие организации (Т. Н. Аксенова, К. А. Бармута, А. В. Воронцова, Л. И. Дуброва, О. И. Митякова, Е. В. Шилова, А. П. Шихвердиев и др.) [11, 12, 13, 14, 15]. То есть, инновации рассматриваются как один из факторов устойчивого развития организации.

Анализ научных публикаций Б. Е. Большакова, Г. А. Гранберга, В. И. Данилова-Данильяна, В. В. Попкова, О. С. Сухарева, М. М. Циканова, Е. С. Шопхоева и других авторов позволяет расматривать инновационную деятельность в качестве базисного фактора устойчивого развития субъекта хозяйствования [16, 17, 18].

Вместе с тем в специализированной литературе всё большую популярность приобретает концепция, согласно которой, наоборот, устойчивое развитие организации является необходимым фактором осуществления ею инновационной деятельности (М. Ч. Залиханов, И. Г. Матьевич, Ю. М. Прохоцкий, А. Ю. Рассомахин, И. М. Семенова, Д. К. Шевченко) [19, 20].

Отдельного внимания заслуживает гипотеза, выдвинутая А. В. Сидориным и В. В. Сидориным, о том, что в рамках одного и того же субъекта хозяйствования инновационная деятельность и устойчивое развитие могут выступать и в качестве фактора, и в качестве аргумента, в зависимости от стадии жизненного цикла инновации и необходимости реинжиниринга бизнес-процессов [21].

В настоящем исследовании устойчивое развитие организации будет рассматриваться как социо-эколого-экономическая система, где все элементы являются взаимосвязанными и играют равноценную роль в формировании общей устойчивости коммерческой организации. Так же авторы придерживаются гипотезы, что инновационная деятельность оказывает влияние на устойчивое развитие организации, то есть рассматривается как его фактор.

В соответствии с предложенным авторским подходом [22], инновационная деятельность представляет собой сложный многогранный процесс, который предлагается рассматривать как систему со входом и выходом. При этом, «вход» представлен инновационным потенциалом коммерческой организации, «процесс», или механизм преобразования «входа» в «выход», – ее инновационной активностью, а «выход» – эффективностью инновационной деятельности.

Изучение влияния инновационной деятельности коммерческой организации на её устойчивое развитие будет осуществляться с учётом оценки влияния каждой составляющей этой системы на общий результат. С другой стороны, влияние инновационной деятельности на отдельные аспекты устойчивого развития – экономического, экологического, социального, может носить разный характер как по направлению, так и по силе этого влияния. Следовательно, представляет интерес оценка влияния инновационной деятельности на каждый аспект устойчивого развития коммерческой организации.

Таким образом, задачами настоящего исследования являются:

– исследовать взаимосвязи общего уровня устойчивого развития коммерческой организации (признак-результат) и интегрального показателя инновационной деятельности (признак-фактор);

– построить модели взаимосвязи инновационного потенциала, инновационной активности и эффективности инновационной деятельности с отдельными аспектами устойчивого развития;

– управлять уровнем устойчивого развития организации как в целом, так и в разрезе его составляющих на основании построенных моделей.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ КОММЕРЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Для решения очерченного выше круга задач в рамках построения моделей взаимосвязи между показателями устойчивого развития и инновационной деятельности необходимо дать комплексную числовую оценку каждой составляющей.

Методика комплексной оценки инновационной деятельности коммерческой организации с позиции системного подхода достаточно подробно изложена в [22]. В предлагаемом подходе инновационная деятельность коммерческой организации рассматривается с точки зрения таких её составляющих, как: инновационного потенциала, инновационной активности, эффективности инновационной деятельности. Сам показатель инновационной деятельности определяется как интегральная величина из перечисленных выше.

Следующим этапом данного исследования является построение модели оценки устойчивого развития организации.

Руководствуясь тем фактом, что устойчивое развитие организации является триединой системой, его оценка будет проведена в разрезе отдельных составляющих:

1) оценка экономического развития;

2) оценка социального развития;

3) оценка экологического развития.

С целью обеспечения сопоставимости показателей оценки инновационной деятельности и устойчивого развития в основу методики положены следующие принципы:

1) использование индексов показателей как для обобщенного показателя устойчивого развития, так и отдельных его составляющих: экономического, социального и экологического развития, что позволило объединить показатели, измеряемые в различных единицах;

2) при построении интегрального показателя устойчивого развития учтено направление влияния каждого отдельно взятого его элемента на величину интегрального индекса: показатели, имеющие прямое влияние на рассчитываемый интегральный индекс, представлены как множители, а показатели, имеющие обратное влияние – в виде делителей, что даёт возможность более точно оценить получаемые результаты;

3) исключено дублирование показателей устойчивого развития с показателями инновационного потенциала, инновационной активности и эффективности инновационной деятельности.

Таким образом, для построения модели оценки устойчивого развития были определены следующие показатели:

Показатели экономического развития ($\boldsymbol{Y_1}$):

– коэффициент автономии (финансовой независимости) (КА);

– коэффициент текущей ликвидности (КТЛ);

– зарплатоотдача, руб. (ЗПО);

– амортоотдача, руб. (АО);

– материалоотдача, руб. (МО);

– доля активной части основных средств в общем объёме основных средств организации, % (ДАЧ);

– удельный вес сертифицированной продукции в общем объёме выпуска, % (ДСП);

– коэффициент реализации (КР);

– коэффициент оборачиваемости оборотных средств (КООБС);

– рентабельность продаж, % (РП)

– рентабельность активов (чистая прибыль/валюта баланса), % (РА);

– затратоотдача, руб. (ЗО);

– коэффициент обновления активной части основных средств (КОАЧ).

Показатели социального развития (Y_2):

– коэффициент текучести кадров (КТ);

– соотношение средней заработной платы в организации к средней заработной плате по виду экономической деятельности (ВЭД), % (ЗПВЭД);

– соотношение средней заработной платы организации к средней заработной плате по Республике Беларусь, % (ЗПРБ);

– доля работников повысивших квалификацию в общей численности работников, % (ДРПК);

– доля выплат компенсирующего характера в фонде заработной платы, % (ДВКХ);

– доля неявок по болезни в общем количестве неявок, % (ДНБ).

Показатели экологического развития (Y_3):

– объём выбросов загрязняющих веществ на единицу продукции (в натуральном выражении) тонн/тыс. кв.м., (ВОПН);

– услуги сторонних организаций по уборке территории, сбору отходов, млн.руб., (УСО);

– объём выбросов загрязняющих веществ на рубль продукции(в стоимостном выражении) тонн/руб., (ВОПС).

Для комплексной оценки устойчивого развития предложен следующий алгоритм (рисунок 1).

Взаимосвязь показателей устойчивого развития и инновационной деятельности в общем виде представлена в виде следующей модели (формула 1):

$$y=f(x), \quad (1)$$

где y – интегральный показатель устойчивого развития; x – интегральный показатель инновационной деятельности.

Так как в рамках настоящего исследования показатель инновационной деятельности рассматривается в разрезе его составляющих, то модель (1) была модифицирована и представлена в следующем виде (2):

$$y=f(x_1, x_2, x_3), \quad (2)$$

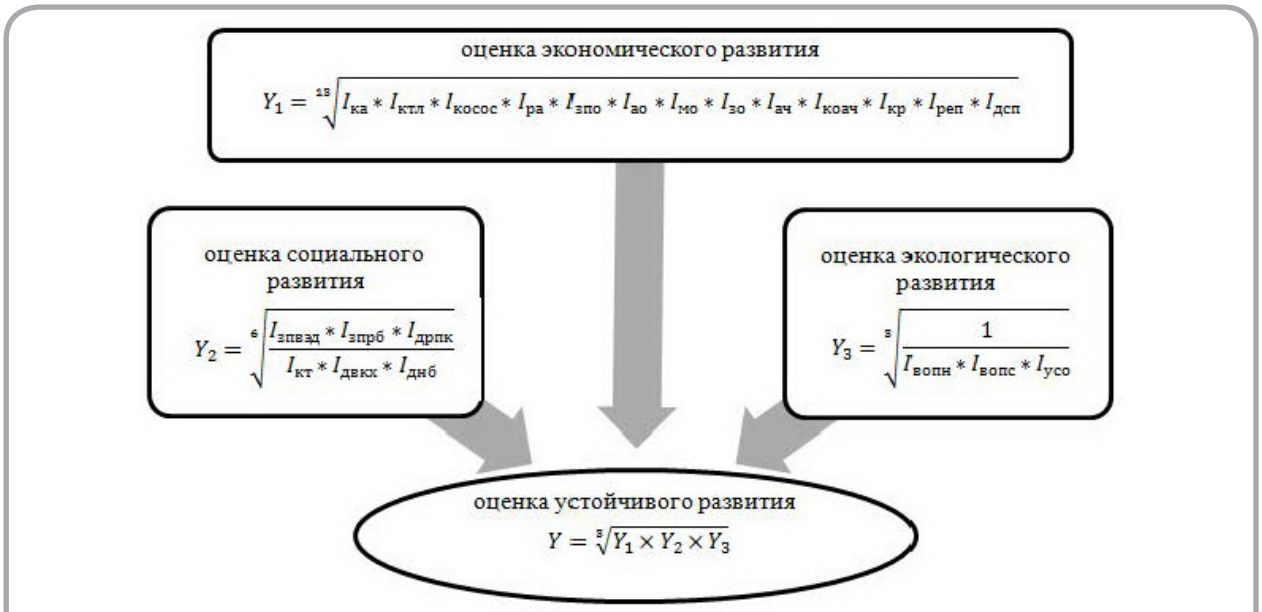


Рисунок 1 – Алгоритм комплексной оценки устойчивого развития

Источник: собственная разработка.

где y – показатель устойчивого развития; x_1 – показатель инновационного потенциала; x_2 – показатель инновационной активности; x_3 – показатель эффективности инновационной деятельности [22].

Вместе с тем представляется практический интерес оценить не только влияние отдельных составляющих инновационной деятельности на общий уровень устойчивого развития организации, но и на его отдельные элементы: экономическое развитие, социальное развитие, экологическое развитие.

Как результат, авторами предложена модель матрицы оценки взаимосвязи устойчивого развития и инновационной деятельности организации (рисунок 2).

Данная матрица наглядно отражает механизм оценки взаимосвязи показателей устойчивого развития и инновационной деятельности организации в рамках предложенного авторами подхода.

АПРОБАЦИЯ МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ЕЁ УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Для установления сложившихся закономерностей во взаимосвязи инновационной деятельности и устойчивого развития субъектов экономики были выбраны 12 промышленных организаций г. Витебска, относящиеся к различным видам экономической деятельности: ОАО «Витебские ковры», ОАО «Витязь», ОАО завод «ВИЗАС» и так далее. Выбор организаций был обусловлен тем, что они составляют основной массив статистического наблюдения промышленности г. Витебска, где осуществляется инновационная деятельность.

На основании рассчитанных показателей с помощью программы IBM SPSS Statistics были построены экономико-математические модели зависимости показателя устойчивого развития организации от уровня её инновационной деятельности. Уравнения регрессии и обобщающие

	Индекс инновационного потенциала x_1	Индекс инновационной активности x_2	Индекс эффективности инновационной деятельности x_3	Интегральный индекс инновационной деятельности $x=\sqrt[3]{x_1 \times x_2 \times x_3}$
Индекс экономического развития y_1	$y_1 = f(x_1, x_2, x_3)$			-
Индекс социального развития y_2	$y_2 = f(x_1, x_2, x_3)$			-
Индекс экологического развития y_3	$y_3 = f(x_1, x_2, x_3)$			-
Индекс устойчивого развития $y=\sqrt[3]{y_1 \times y_2 \times y_3}$	$y = f(x_1, x_2, x_3)$			$y = f(x)$

Рисунок 2 – Модель матрицы оценки взаимосвязи устойчивого развития и инновационной деятельности организации

Источник: собственная разработка.

показатели оценки адекватности полученных регрессионных моделей представлены в таблице 1.

Как видно из информации, представленной в таблице 1, коэффициенты корреляции для всех моделей лежат в приемлемом диапазоне (0,6 – 1), что свидетельствует о наличии связи между признаками факторами и результативным признаком. Коэффициенты детерминации так же имеют высокие значения, указывающие на тот факт, что большая часть изменения признака-результата обусловлена изменением признаков-факторов. Расчётные значения критерия Фишера выше табличных значений, а значение стандартной ошибки не превышает 10 %, на основании чего сделан вывод о статистической значимости и адекватности построенных моделей.

При проверке гипотезы о наличии связи между инновационной деятельностью и устойчивым развитием организации авторами была использована зависимость вида (1). В результате расчётов была получена модель (3):

$$Y=0,485X+0,558. \quad (3)$$

По результатам расчётов можно сделать вывод о наличии явно выраженной прямой связи между инновационной деятельностью и устойчивым развитием организации, так как коэффициент корреляции имеет значение 0,6781 (таблица 1).

Поскольку установлено, что инновационная деятельность как процесс включает инновационный потенциал, инновационную активность и эффективность инновационной деятельности, то далее была построена модель зависимости устойчивого развития от инновационной деятельности, если последняя будет разложена на составляющие (2). Так, была получена следующая

Таблица 1 – Регрессионные модели зависимости устойчивого развития от уровня инновационной деятельности организации и показатели оценки их адекватности

Уравнение регрессии	Коэффициент множественной корреляции (R)	Коэффициент детерминации (R_2)	Стандартная ошибка	Критерий Фишера табл. (F)	Критерий Фишера расч. (F)
Зависимость обобщающего показателя устойчивого развития от общего уровня инновационной деятельности $Y = 0,485X+0,558$	0,6781	0,3118	0,0967	0,0328	6,1206
Зависимость обобщающего показателя устойчивого развития от отдельных элементов инновационной деятельности $Y = 0,506X_1+0,173X_2+0,041X_3+0,337$	0,7704	0,5935	0,0974	0,0551	3,8937
Зависимость уровня экономического развития от отельных элементов инновационной деятельности $Y_1 = 0,712X_1+0,337X_2+0,193X_3-0,264$	0,8625	0,7440	0,0922	0,0094	7,7484
Зависимость социального развития от отельных элементов инновационной деятельности $Y_2 = 0,059X_1+0,051X_2+0,049X_3+0,992$	0,6201	0,3845	0,0984	0,0500	0,9841
Зависимость экологического развития от отдельных элементов инновационной деятельности $Y_3 = 0,848X_1+0,127X_2+0,08X_3+0,302$	0,6134	0,3763	0,0995	0,4001	1,1104

Источник: собственная разработка.

регрессионная модель (4):

$$Y=0,506X1+0,173X2+0,041X3+0,337. \quad (4)$$

Таким образом, было установлено, что наибольшее влияние на устойчивое развитие промышленных организаций оказывает инновационный потенциал организации, более слабое влияние оказывает инновационная активность, слабое влияние имеет эффективность инновационной деятельности. Подобные результаты объясняются тем, что инновационная деятельность авторами рассматривается как процесс, в результате чего именно на первом этапе данного процесса и определяются основные параметры возможности и целесообразности осуществления инновационной деятельности.

Поскольку устойчивое развитие организации рассматривается авторами как триединая система из социального, экологического и экономического развития, следовательно, представляет практический интерес построение модели зависимости каждой из названных составляющих от компонентов инновационной деятельности организации.

Так, для характеристики зависимости экономического развития от отельных элементов инновационной деятельности была построена следующая модель (5):

$$Y1=0,712X1+0,337X2+0,193X3-0,264. \quad (5)$$

Полученные результаты свидетельствуют о превалирующем влиянии инновационного потенциала на экономическую устойчивость организации. Данное обстоятельство обусловлено тем, что на настоящем этапе развития экономики именно потенциальные возможности организации осуществлять инновационную деятельность повышают конкурентные преимущества субъекта хозяйствования. Чуть слабее на экономическую устойчивость оказывает влияние инновационная активность организации. Указанное явление объясняется тщательным планированием и контролем осуществления инновационной деятельности, в результате чего, как правило, эффективность инновационной деятельности будет известна заранее, что и отображено на представленной модели.

Далее была построена модель зависимости уровня социального развития от отдельных элементов инновационной деятельности (6):

$$Y2=0,059X1+0,051X2+0,049X3+0,992. \quad (6)$$

На основании представленных результатов можно сделать вывод о весьма слабом влиянии показателей инновационной деятельности на социальную устойчивость организации. Данное обстоятельство объясняется тем, что критерии социального развития коллектива определяются организацией в плане социального развития и в большей степени продиктованы сложившейся ситуацией в экономике в целом и экономической ситуацией в самой организации, независимо от того, осуществляет ли данная организация инновационную деятельность или нет.

При построении модели зависимости экологического развития от инновационной деятельности были получены следующие результаты (7):

$$Y3=0,848X1+0,127X2+0,08X3+0,302. \quad (7)$$

Следовательно, на экологическую устойчивость в большей степени оказывает влияние инновационный потенциал, нежели эффективность инновационной деятельности. Это обусловлено тем, что инновационная деятельность априори предполагает экологичность производств. В настоящее время перед организациями ставятся вопросы не только сертификации продукции, но и применяемых технологий, независимо от экономических показателей деятельности организации.

Полученные результаты расчётов послужили основой для построения матрицы взаимосвязи показателей инновационной деятельности промышленных организаций г. Витебска и их устойчивого развития в разрезе отдельных составляющих (рисунок 3).

Таким образом, можно сделать вывод, что цель исследования достигнута: авторами расчётным путём была доказана выдвинутая гипотеза о наличии связи между устойчивым развитием

и инновационной деятельностью организации и дана её количественная оценка. Так же в ходе исследования были выведены модели зависимости отдельных аспектов устойчивого развития организации от её инновационной деятельности. На основании полученных моделей и построенной на их базе матрицы взаимосвязи показателей инновационной деятельности и устойчивого развития появилась возможность прогнозировать уровень устойчивого развития организации как в целом, так и отдельных его компонентов в зависимости от уровней элементов её инновационной деятельности. В результате, воздействуя на отдельные составляющие инновационной деятельности, можно управлять показателями устойчивого развития организации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивое развитие современной промышленной организации с позиции системного подхода необходимо рассматривать как результат комплексного взаимодействия и взаимовлияния трёх его элементов: экономического развития, социального развития и экологического развития. Только при сбалансированном одновременном взаимодействии указанных элементов можно добиться устойчивости субъекта хозяйствования. При изучении литературных источников было установлено, что устойчивое развитие связано, прежде всего, с инновационными процессами. На основании подхода и рассмотрении инновационной деятельности как фактора устойчивого развития организации, она была представлена в разрезе трёх составляющих: инновационного потенциала, инновационной активности и эффективности инновационной деятельности.

В ходе настоящего исследования были построены комплексные модели взаимосвязи инновационной деятельности коммерческой организации и её устойчивого развития. Апробация разработанных моделей в коммерческих организациях г. Витебска подтвердила сформулированную гипотезу о взаимосвязи между исследуемыми явлениями и позволила дать их количественную оценку. Вследствие чего была построена матрица взаимосвязи показателей инновационной деятельности промышленных

Составляющие инновационной деятельности / Составляющие устойчивого развития	Инновационный потенциал, X1	Инновационная активность, X2	Эффективность инновационной деятельности, X3	Интегральный показатель инновационной деятельности, X
Экономическое развитие, Y1	**очень сильное**	**сильное**	**существенное**	-
Социальное развитие, Y2	**очень слабое**	**очень слабое**	**очень слабое**	-
Экологическое развитие Y3	**очень сильное**	**существенное**	**слабое**	-
Интегральный показатель устойчивого развития, Y	**сильное**	**существенное**	**слабое**	**сильное**

Рисунок 3 – Матрица взаимосвязи показателей инновационной деятельности промышленных организаций г. Витебска и их устойчивого развития в разрезе отдельных составляющих

Источник: собственная разработка.

организаций г. Витебска и их устойчивого развития.

Анализируя полученные результаты, было установлено, что на устойчивое развитие коммерческих организаций г. Витебска в первую очередь оказывает влияние их инновационный потенциал. В связи с чем, субъектам хозяйствования с целью повышения уровня своего устойчивого развития необходимо, в первую очередь, усилить восприимчивость к инновациям и быть способными к осуществлению инновационной деятельности. При исследовании влияния инновационной деятельности на отдельные элементы устойчивого развития было установлено, что инновационная деятельность в меньшей степени влияет на социальное развитие субъекта хозяйствования. Однако, с другой стороны, учитывая, что сбалансированное устойчивое развитие должно обеспечивать равную динамику его экономической, экологической и социальной составляющих, определено приоритетное направление совершенствования инновационной деятельности коммерческих организаций г. Витебска: усиление социальной направленности инноваций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Жигалова, В. Н. (2007), Роль инноваций в современной концепции экономического развития, *Управление общественными и экономическими системами*, № 1, С. 52–56.

2. Акимова, Т. А., Мосейкин, Т. А. (2009), *Экономика устойчивого развития*, Москва, 430 с.

3. Алферова, Т. В., Третьякова, Е. А. (2013), *Устойчивое развитие социально-экономических систем: теоретические аспекты*, Екатеринбург, 168 с.

4. Третьякова, Е. А., Алфёрова, Т. В. (2012), Управление устойчивым развитием социально-экономических систем: институциональные аспекты, *Актуальные проблемы экономики и права*, № 4, С. 195–201.

5. Мельник, Т. Е. (2009), *Управление устойчивым развитием промышленных предприятий на основе использования эффективного комплексного показателя его оценки: автореф. дисс…канд.эк.наук*, Орёл, 24 с.

6. Мусаева, Э. П. (2010), Устойчивое развитие организации в системе современной экономики, *Сборник научных трудов СевКавГТУ № 10*. Серия Экономика, С. 142–148.

7. Василенко, В. А. (1997), *Экология и экономика: проблемы и поиски путей устойчивого развития,* Новосибирск, 123 с.

8. Урсул, А. Д., Романович, А. Л. (2001), *Концепция устойчивого развития и проблема безопасности*. Режим доступа:http://

REFERENCES

1. Zhigalova, V. N. (2007), The role of innovation in the modern concept of economic development [Rol' innovatsiy v sovremennoy kontseptsii ekonomicheskogo razvitiya], *Upravleniye obshchestvennymi i ekonomicheskimi sistemami – Management of public and economic systems*, № 1, pp. 52–56.

2. Akimova, T. A., Moseykin, T. A. (2009), *Ekonomika ustoychivogo razvitiya* [Economic of sustainable development], Moscow, 430 p.

3. Alferova, T. V., Tretyakova, E. A. (2013), *Ustoychivoye razvitiye sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: teoreticheskiye aspekty* [Sustainable development of socio-economic systems], Ekaterenburg, 168 p.

4. Tretyakova, E. A., Alferova, T. V. (2012), Sustainable development management of socio-economic systems: institutional aspects [Upravleniye ustoychivym razvitiyem sotsial'no-ekonomicheskikh sistem: institutsional'nyye aspekty], *Aktual'nyye problemy ekonomiki i prava – Actual problems of Economics and Law*, № 4, pp. 195–201.

5. Melnik, T. E. (2009), *Upravleniye ustoychivym razvitiyem promyshlennykh predpriyatiy na osnove ispol'zovaniya effektivnogo kompleksnogo pokazatelya yego otsenki* [Management of sustainable development of industrial enterprises through the use of an effective complex indicator of its evaluation]: synopsis diss… PhD in Economic sciences, Orol, 24 p.

6. Musaeva, E. P. (2010), Sustainable development of the organization in the modern economy [Ustoychivoye razvitiye organizatsii v sisteme sovremennoy ekonomiki], *Sbornik nauchnykh trudov SevKavGTU. Seriya Ekonomika – Collection of scientific papers NCFU.*

filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000706/ (дата обращения: 11 февраля 2017).

9. Витковская, Н. Н. (2015), *Обеспечение устойчивого развития промышленного комплекса региона на основе инноваций (на примере Приморского края): диссертация,* Режим доступа: dlib.rsl.ru/loader/view/01003168064?get=pdf. (дата обращения: 11 февраля 2017).

10. Медведев, В. А. (2001), Устойчивое развитие общества: модели, стратегия, Москва, 267 с.

11. Аксенова, Т. Н., Болдырева, С. Б. (2012) Инновационные основы устойчивого развития экономики, *Экономический журнал,* № 26, С. 75–83.

12. Бармута, К. А. (2008) Инновационный потенциал как фактор развития предприятий, *Вопросы современной экономики*, № 5, С.26–31.

13. Воронцова, А. В., Городнов, А. Г. (2012), Стимулирование инновационной деятельности — основа выживания и устойчивого развития предприятия ОПК в современных условиях, *Проблемы устойчивого развития предприятий в современных условиях: сборник статей*, С. 5–12.

14. Митякова, О. И. (2009), *Проблемы устойчивого развития экономики России на основе инновационных преобразований: монография,* Нижний Новгород, 236 с.

15. Шилова, Е. В. (2015), Инновации как фактор обеспечения устойчивого развития социально-экономических систем, *Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика»*, № 2(25), С. 23–30.

16. Большаков, Б. Е. (2009), *Возникновение и основные проблемы вхождения понятия устойчивое развитие в мировую политику и науку*, Дубна, 210 с.

17. Данилов-Данильян, В. И., Лосев, К. С. (2000), *Экологический вызов и устойчивое развитие,* Москва, 342 с.

18. Сухарев, О. С. (2013), Неэкономические факторы экономического развития, *Научные труды Вольного экономического общества России*, Т. 169, № 2, С. 59–66.

Part "Economy", № 10, pp. 142–148.

7. Vasilenko, V. A. (1997), *Ekologiya i ekonomika: problemy i poiski putey ustoychivogo razvitiya* [Ecology and Economics: Problems and Searches of ways for Sustainable Development], Novosibirsk, 123 p.

8. Ursul, A. D., Romanovich, A. L. (2001), *Kontseptsiya ustoychivogo razvitiya i problema bezopasnosti* [The concept of sustainable development and the problem of security], available at: http://filosof.historic.ru/books/item/f00/s00/z0000706/ (accesed 11 February 2017).

9. Vitkovskaya, N. N. (2015), *Obespecheniye ustoychivogo razvitiya promyshlennogo kompleksa regiona na osnove innovatsiy (na primere Primorskogo kraya): dissertatsiya* [Ensuring sustainable development of the industrial complex of the region on the basis of innovations: dissertation (Primorsky Territory as an example)], available at: dlib.rsl.ru/loader/view/01003168064?get=pdf. (accesed 11 February 2017).

10. Medvedev, V. A. (2001), *Ustoychivoye razvitiye obshchestva: modeli, strategiya* [Sustainable Development of Society: Models, Strategy], Moscow, 267 p.

11. Aksenova, T. N., Boldyreva, S. B. (2012), Innovative basics of sustainable economic development [Innovatsionnyye osnovy ustoychivogo razvitiya ekonomiki], *Ekonomicheskiy zhurnal – Economic journal*, № 26, pp. 75-83.

12. Barmuta, K. A. (2008), The innovative potential of enterprise development as a factor [Innovatsionnyy potentsial kak faktor razvitiya predpriyatiy], *Voprosy sovremennoy ekonomiki – Questions of modern economy,* № 5, pp. 26–31.

13. Vorontsova, A. V., Gorodnov, A. G. (2012), Encouraging innovation as a survival and sustainable development foundation of the MIC enterprise in modern conditions [Stimulirovaniye innovatsionnoy deyatel'nosti — osnova vyzhivaniya i ustoychivogo razvitiya predpriyatiya OPK v sovremennykh usloviyakh], *Problemy ustoychivogo razvitiya predpriyatiy v sovremennykh usloviyakh: sbornik statey – Problems of sustainable development of the enterprises in modern conditions: Digest of articles*, pp. 5–12.

14. Mityakova, O. I. (2009), *Problemy ustoychivogo razvitiya ekonomiki Rossii na osnove innovatsionnykh preobrazovaniy: monografiya* [Problems of sustainable development of Russian economy based on innovative reforms: monograph], Nizhniy Novgorod, 236 p.

19. Прохоцкий, Ю. М., Залиханов, М. Ч. (2008), Инновационный процесс и устойчивое развитие. Аспекты и проблемы, *Компетентность*, № 7, С. 42–48.

20. Шевченко, Д. К., Рассомахин, А. Ю. (2010), Обеспечение устойчивости работы предприятия на основе активизации инновационной деятельности, *Вестник ТГЭУ*, № 3, С. 43–52.

21. Сидорин, А. В., Сидорин, В. В. (2014), Модель устойчивого развития предприятия на основе инновационной деятельности, *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований,* № 9–2, С. 35–40.

22. Касаева, Т. В. (2015), Оценка инновационной деятельности как фактора устойчивого развития коммерческой организации, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 28, С. 202–213.

15. Shilova, E. V. (2015), Innovation as a factor of sustainable development of socio-economic systems [Innovatsii kak faktor obespecheniya ustoychivogo razvitiya sotsial'no-ekonomicheskikh sistem], *Vestnik Permskogo universiteta. Ser. «Ekonomika» – Perm University Herald. Part "Economy"*, № 2(25), pp. 23–30.

16. Bolshakov, B. E. (2009) *Vozniknoveniye i osnovnyye problemy vkhozhdeniya ponyatiya ustoychivoye razvitiye v mirovuyu politiku i nauku* [Genesis and the main problems of entrance the concept of sustainable development into world politics and science], Dubna, 210 p.

17. Danilov-Danilyan, V. I., Losev, K. S. (2000), *Ekologicheskiy vyzov i ustoychivoye razvitiye* [Ecological challenge and sustainable development], Moscow, 342 p.

18. Sukharev, O. S. (2013), Non-economic factors of economic development [Neekonomicheskiye faktory ekonomicheskogo razvitiya], *Nauchnyye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii – Scientific works of the Free Economic Society of Russia,* P. 169, № 2, pp. 59–66.

19. Prohotsky, Y. M, Zalikhanov, M.Ch. (2008), Innovative process and sustainable development. Issues and challenges [Innovatsionnyy protsess i ustoychivoye razvitiye. Aspekty i problem], *Kompetentnost' – Competence*, № 7, pp. 42–48.

20. Shevchenko, D. K., Rassomahin, A. Y. (2010), Ensuring the sustainability of the enterprise on the basis of innovation activity [Obespecheniye ustoychivosti raboty predpriyatiya na osnove aktivizatsii innovatsionnoy deyatel'nosti], *Vestnik TGEU – Vestnik TSEU*, № 3, pp. 43–52.

21. Sidorin, A. V., Sidorin, V. V. (2014), The model of sustainable enterprise development based on innovation [Model' ustoychivogo razvitiya predpriyatiya na osnove innovatsionnoy deyatel'nosti], *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy – International Journal of Applied and Basic Research,* № 9–2, pp. 35–40.

22. Kasaeva, T. V. (2015), Evaluation innovative activity as a factor for sustainable development of commercial organizations [Otsenka innovatsionnoy deyatel'nosti kak faktora ustoychivogo razvitiya kommercheskoy organizatsii], *Vestnik VSTU – Vestnik VSTU,* № 28, pp. 202–213.

Статья поступила в редакцию 21. 02. 2017 г.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАБОЧЕГО ВРЕМЕНИ В ЭКОНОМИКЕ БЕЛАРУСИ

EFFECTIVE USE OF WORKING TIME IN THE BELARUS ECONOMY

УДК 331.5 (476)

Н.В. Маковская*
Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова

N. Makovskaya*
Mogilev State University A. Kuleshov

РЕФЕРАТ

РАБОЧЕЕ ВРЕМЯ, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ТРУДА, НАЦИОНАЛЬНАЯ ЭКОНОМИКА, ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ВАЛОВАЯ ДОБАВЛЕННАЯ СТОИМОСТЬ

Предметом исследования являются процессы эффективного использования рабочего времени в национальной экономике Беларуси. Цель исследования состоит в определении специфики организации использования и формирования ресурса рабочего времени, выявлении факторов, влияющих на его использование. В работе использованы статистические и эконометрические методы исследования.

Результаты работы представлены: выделенными принципами организации и использования рабочего времени в Беларуси, определением и анализом динамики факторов, влияющих на эффективность использования рабочего времени, обоснованием методических подходов для оценки эффективности рабочего времени в национальной экономике.

ABSTRACT

WORKING TIME, EFFICIENCY, HUMAN RESOURCES, NATIONAL ECONOMY, WAGES, LABOUR PRODUCTIVITY

The subject of the research is the processes of effective use of working time in the national economy of Belarus. The purpose of the study is to determine the specifics of an organization use and formation of the resource's working time, to identify factors influencing its use. Statistical and econometric methods are used in the work.

The following results of the work are presented: the selected principles of organization and management of work time in Belarus, identifying and analysing the dynamics of factors influencing the efficiency of use of time, justifying its methodical approaches for assessing the effectiveness of working time in the national economy.

В экономической истории общества самым известным измерителем количества затраченного труда является рабочее время. Его величина, норма рабочего времени, определяется уровнем развития общества, политическими и экономическими факторами. Значимость категории «рабочее время» одинакова как с экономической позиции, так и юридической, что обосновано идентичным ее пониманием как времени, в течение которого работник должен выполнять возложенные на него обязанности (трудовые функции).

Актуальность категории «рабочее время» обусловлена также тем, что само рабочее время и время отдыха коррелирует с такими институтами, как оплата и нормирование труда, трудовая нагрузка, дисциплина труда, охрана труда. Возникает необходимость не только в экономическом и юридическом обосновании форм регулирования рабочего времени, но в оценке эффективности его использования. Эффективность использования рабочего времени обусловлена

* E-mail: *maknata@mail.ru* (N. Makovskaya)

его экономическим содержанием, суть которого состоит в том, что количество отработанного рабочего времени является фактором формирования социально-трудовых затрат в обществе. Эти затраты определяют создание и сокращение рабочих мест путем изменения продолжительности работы. Кроме этого, данный вид затрат позволяет оптимизировать издержки по учету и мониторингу рабочего времени, что способствует эффективному развитию организации.

Целями данной статьи являются: 1) изучение связи между динамикой количества отработанного рабочего времени в национальной экономике Беларуси и динамикой количества экономических рабочих мест и номинальной заработной платы, что позволит выявить институциональные особенности формирования трудовых затрат в экономике Беларуси; 2) оценка эффективности использования рабочего времени, что позволит определить связь между количеством отработанного времени и уровнем экономической эффективности труда в национальной экономике.

Оценка эффективности использования рабочего времени в национальной экономке связана с поиском приемлемых методических подходов, которые бы позволили использовать статистический инструментарий и базу данных по отработанному рабочему времени. Задача состоит в использовании сопоставимых измерителей динамики численности занятых, объема фактически отработанного рабочего времени, уровня заработной платы. Так, статистика по фактическому отработанному рабочему времени представлена в «Статистическом ежегоднике Республике Беларусь», в статистическом сборнике «Труд и занятость в Республике Беларусь». Отдельная информация для мониторинга рабочего времени представлена в сборниках «Промышленность Республики Беларусь» и «Социальное положение и уровень жизни населения Республики Беларусь». Более подробные расчеты и методика определения количества рабочего времени, которое запланировано на календарный год, представлены в годовых производственных календарях Республики Беларусь.

Однако, белорусская статистическая база представляется весьма «скудной» в разрезе данных показателей и не сопоставимой (например, с российскими данными) для сравнительного анализа. В этой связи, данное исследование имело в своем распоряжении только тот срез официальных данных, который представлен в государственной статистической информации. Главной проблемой национальной статистики по рабочему времени является ее отсутствие по всем видам экономической деятельности в Беларуси.

На рисунках 1–3 представлена агрегированная статистика макроуровня [1–2], которая позволяет провести анализ изменения количества отработанного рабочего времени, динамики количества экономических рабочих мест и уровня номинальной заработной платы. Экономическое рабочее место – совокупность материально-вещественных, социально-экономических, экологических и других условий, обеспечивающих продуктивную занятость одного работника [7].

Рисунок 1 – Динамика количества отработанных рабочих дней на 1 работника по видам экономической деятельности в экономике Беларуси

Рисунок 2 – Динамика количества рабочих мест (экономических) в экономике Республики Беларусь

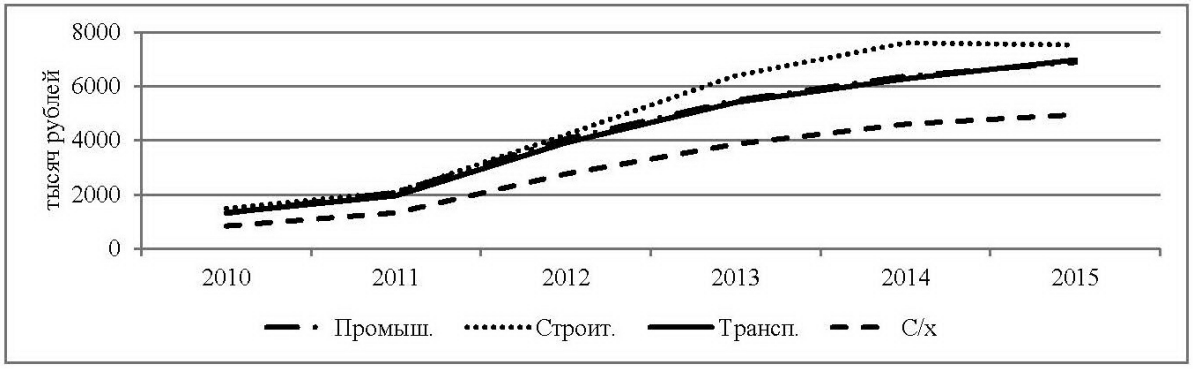


Рисунок 3 – Динамика номинальной заработной платы, в бел. руб.

Анализ позволяет сформулировать следующие выводы:

– во-первых, наиболее затратным видом экономической деятельности по использованию ресурса времени в Беларуси является сельское хозяйство;

– во-вторых, по сравнению с 2010 г. к 2016 г. белорусские работники стали работать меньше, о чем говорит сокращение отработанного рабочего времени в среднем на 3–5 п.п.;

– в-третьих, при общем тренде к сокращению отработанного рабочего времени уровень номинальной заработной платы в экономике Беларуси вырос почти в 3,5 раза, при том, что количество экономических рабочих мест остается практически без изменения (2010–2016 гг.);

– в-четвертых, формирование трудовых затрат в экономике Беларуси происходит не рыночным способом (скорее институциональными методами), так как сокращение одного вида ресурса (времени) сопровождается сохранением ресурса труда, на использование которого имеет место увеличение финансовых затрат. Это позволяет сделать вывод о том, что ресурс времени в экономике Беларуси (для 4 основных ВЭД) не достаточно полно включен в систему учета социально-трудовых затрат. Учет ресурса времени и оценка эффективности его использования позволит строить планирование социально-трудовых затрат в национальной экономике Беларусь на основе рыночных принципов.

Представленная в национальной статистике информация по количеству отработанного рабочего времени только по нескольким видам экономической деятельности не позволяет получить объективное представление об эффективности использования рабочего времени. С этой целью целесообразно рассчитать среднюю производи-

тельность труда и ее динамику на основе показателя валовой добавленной стоимости (ВДС) в исследуемых видах деятельности. Расчет производительности труда проводился двумя способами: первый – с использованием показателя отработанного рабочего времени (чел-дни), второй – с использованием показателя количества занятых работников. Результаты расчетов представлены на рисунках 4–6 [1–2].

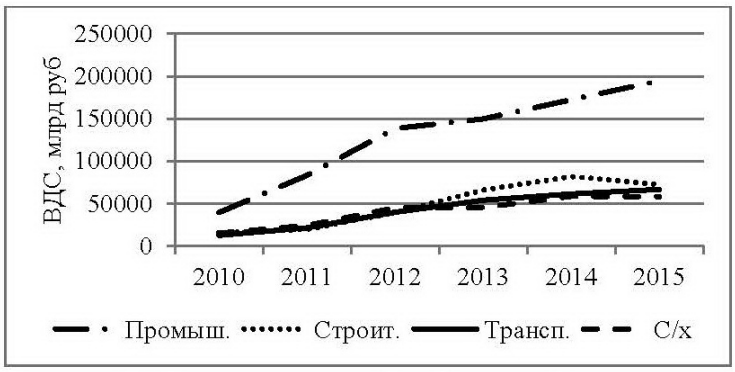


Рисунок 4 – Динамика валовой добавленной стоимости в Республике Беларусь, бел. руб.

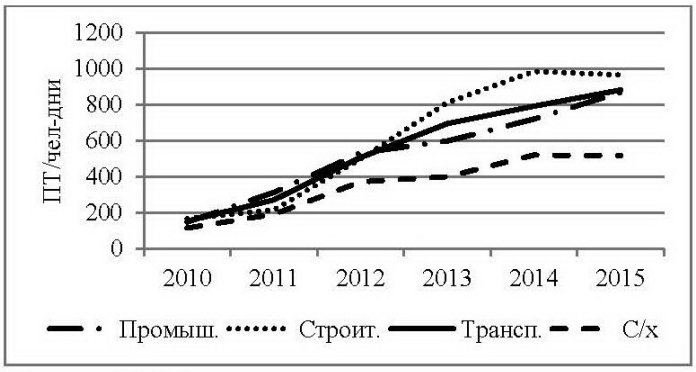


Рисунок 5 – Динамика производительности труда в Республике Беларусь, рассчитанная как отношение валовой добавленной стоимости к количеству отработанных человеко-дней (ВДС в руб./ чел-дни)

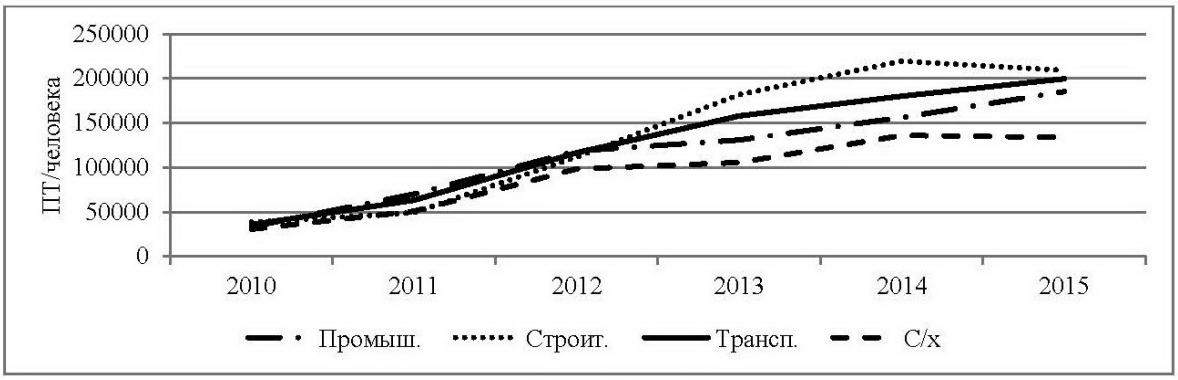


Рисунок 6 – Динамика производительности труда в Республике Беларусь, рассчитанная как отношение валовой добавленной стоимости и количества занятых работников (ВДС руб. / чел.)

Результаты расчетов демонстрируют одинаковый положительный тренд роста валовой добавленной стоимости и производительности труда. Специфика замечена в таком виде экономической деятельности как промышленность, которая связана с тем, что основной объем валовой добавленной стоимости приходится именно на это вид деятельности. Но уровень производительности труда и темп его роста идентичны среднестатистическим значениям и сравнимы с остальными видами деятельности.

Расчеты показали, что динамика уровня производительности в период 2010–2012 гг. была практически одинаковой. С 2013 года данный показатель (рассчитанный двумя способами) стал принципиально отличен в этих видах деятельности.

Иные исследовательские результаты получены в расчетах, которые произведены с использованием долларового эквивалента (рисунки 7–9) [1–2].

Как видно на рисунках 7–9, в долларовом эквиваленте динамика валовой добавленной стоимости и производительности труда является скорее отрицательной. Положительная динамика отмечена только в 2013–2014 гг. и связана с ростом курса белорусского рубля. Изменения показателя валовой добавленной стоимости демонстрируют невысокие темпы роста по сравнению с темпами роста производительности труда.

Дескриптивная статистика указывает на то, что исследуемые показатели и их значения зави-

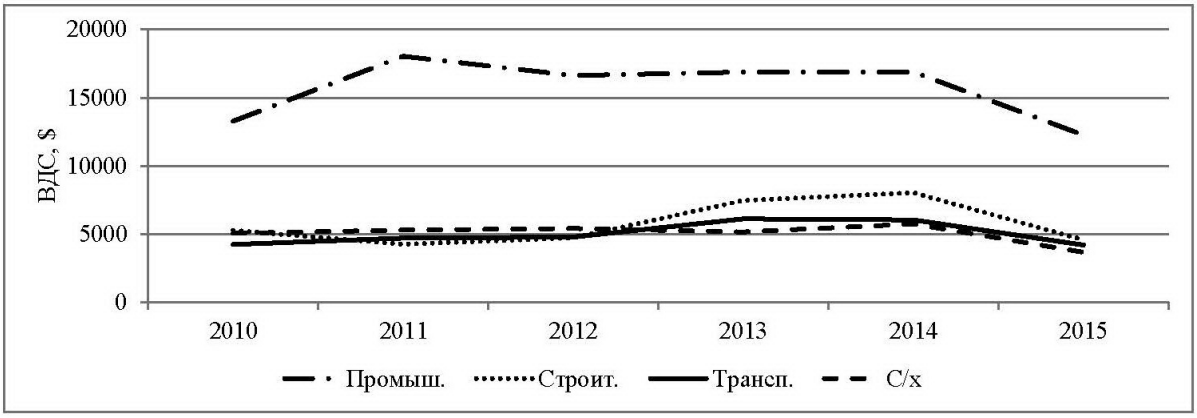


Рисунок 7 – Динамика валовой добавленной стоимости, в долларах США

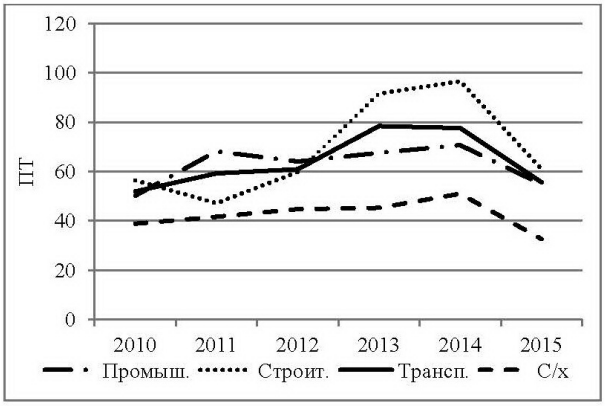


Рисунок 8 – Динамика производительности труда (ВДС в дол. США / чел.-дни)

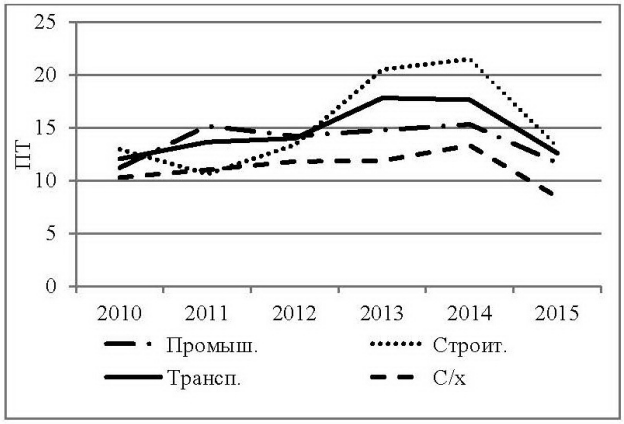


Рисунок 9 – Динамика производительности труда (ВДС дол. США / человек)

сят от курса доллара в национальной экономике.

Оценка эффективности отработанного рабочего времени была возможна в четырех видах экономической деятельности Беларуси (промышленность, транспорт, строительство и сельское хозяйство).

Методическое обоснование такой оценки в экономической литературе остается малоизученной. В данном исследовании был использован методический подход группы российских ученых [3], который в большей мере подходит для оценок использования рабочего времени в странах постсоветских экономик. Основу используемого подхода составляет оценка коэффициента пропорциональности $(k(t))$, который является результатом взаимосвязи, выраженной следующим соотношением:

$$РЧ(t) = k(t)\,PT(t)\,, \qquad (1)$$

где $РЧ(t)$ – производительность труда, рассчитанная по численности занятых (выработка на одного занятого) в году t; $PT(t)$ – производительность труда, рассчитанная по отработанному времени (выработка на один час отработанного времени) в году t; $k(t)$ – коэффициент пропорциональности (величина, демонстрирующая уровень взаимосвязи показателей).

Предварительный дескриптивный анализ данных показателей представлен на рисунках 4–9 [1–2] и указывает на противоречивые результаты, которые связаны с зависимостью от курса доллара.

Результаты определения коэффициентов пропорциональности представлены на рисунках 10–11 [1–2] в белорусских рублях (рисунок 10) и в долларовом эквиваленте (рисунок 11).

Анализ результатов позволяют сделать следующие выводы:

1. Динамика трендов совпадает с динамикой расчетов производительности труда на графиках 8 и 9 [1–2]. Следовательно, курс доллара является однозначной детерминантной, изменяющей тренды уровня производительности.

2. Действие коэффициента пропорциональности на двух графиках демонстрирует взаимосвязь производительности труда, рассчитанной по численности занятых, и аналогичного показателя, рассчитанного по отработанному времени. Графически поведение этих показателей для исследуемых видов экономической деятельности на интервале изучаемого периода времени показало, что их изменение происходит синхронно как в варианте, рассчитанном в белорусских рублях, так и в долларовом эквиваленте. Это позволяет сделать вывод, что между ними имеет место взаимосвязь, которая представлена в формуле 1.

Однако коэффициент пропорциональности не имеет собственного четко выраженного тренда, который бы указывал на параметры эффективности (или неэффективности) в использовании отработанного рабочего времени. Это позволяет говорить о непригодности данного коэффициента как оценочного инструмента эффективности рабочего времени в национальной

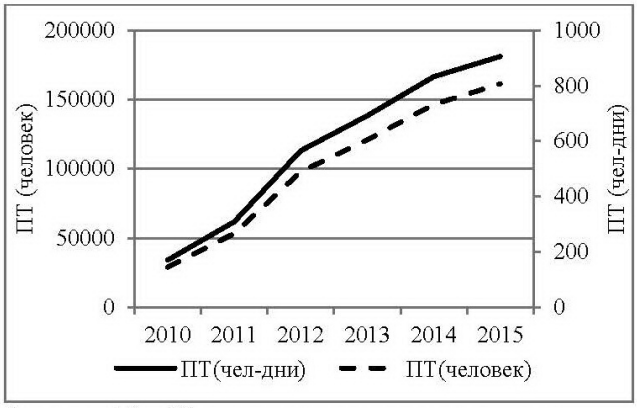


Рисунок 10 – Изменение производительности труда, исчисленной по численности занятых и отработанному рабочему времени (бел. руб.) в экономике Беларуси, 2010–2015 гг.

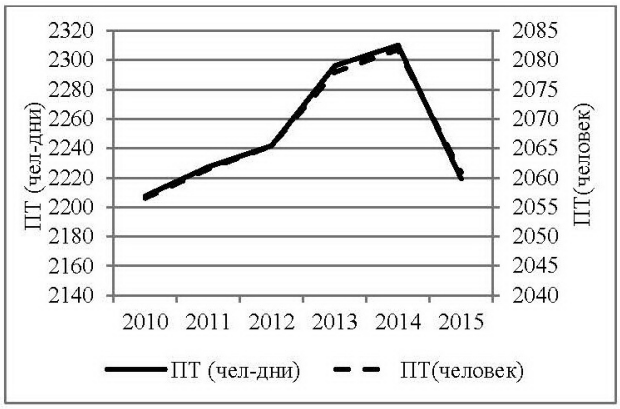


Рисунок 11 – Изменение производительности труда, исчисленной по численности занятых и отработанному времени (дол.) в экономике Беларуси, 2010–2015 гг.

экономике.

Наиболее адекватным представляется методический подход, основанный на определении наличия взаимосвязи отработанного времени и показателя экономической эффективности труда [3].

Показатель экономической эффективности труда – это отношение объема производства в исследуемых видах экономической деятельности к фонду заработной платы в них [3]. Смысл данного показателя состоит в том, что увеличение цены труда, то есть рост заработной платы, побуждает работника, при прочих равных условиях, тратить больше времени для осуществления своей трудовой деятельности. Однако экономической аксиомой является то, что существует определенный предел в соотношении рабочего и свободного времени: при достижении некоторого уровня заработной платы, дальнейшее ее увеличение перестает быть для работника мотивом к увеличению продолжительности своего рабочего времени. Это значит, что: а) с научно-теоретической точки зрения, функция, связывающая отработанное время и экономическую эффективность труда должна быть выпукла вверх и иметь экстремум; б) с практической стороны, указывать на тот предел, при котором использование дополнительной единицы времени уже будет не эффективно.

На основе используемого статистического

материала по четырем основным видам экономической деятельности в национальной экономике Беларуси был построен график функциональной зависимости отработанного времени одним работником от величины экономической эффективности труда. Алгоритм построения следующий: 1) на основе макростатистики рассчитана величина экономической эффективности как отношение объема производства к фонду заработной платы (в 4 видах экономической деятельности); 2) с использованием статического пакета построена функциональная зависимость отработанного времени на 1 рабочего от уровня экономической эффективности труда. График данной зависимости имеет следующий вид (рисунок 12) [1–2].

Кривая на графике имеет выпуклый вид вверх и имеет точку экстремума, что в целом соответствует ее теоретическому обоснованию. Полученная функция адекватна, коэффициент значим (R^2 = 0,6694). Это значит, что для исследуемых видов экономической деятельности в Беларуси существует значение уровня экономической эффективности труда, при достижении которого ее дальнейшее увеличение не мотивирует работника к увеличению отработанного времени.

С точки зрения практической ориентации, уровень экономической эффективности труда можно рассматривать как определенный экономический норматив, обеспечивающий баланс принятых и уволенных, уровень загруженности работников в период рабочего времени, установление оптимальной (экономический обоснованной) численности работников.

Сравнительную информацию об уровне экономической эффективности труда позволяет сделать ее расчет в европейских странах на основе данных Международной организации труда (таблица 1). Значение экономической эффективности труда в странах Европы имеет стабильный тренд роста. Данный показатель в Беларуси является низким, но с положительной динамикой. При возможных вариантах прогноза, исходя из полученной функциональной зависимости, следует предположить, что в данных условиях социально-экономического развития в Беларуси оптимальный норматив эффективности труда останется в пределах 1,8–2,0.

Правомерно предположить, что неэффективность использования рабочего времени в Беларуси является причиной таких процессов на рынке труда как рост вторичной занятости работников, сокращение номинальной заработной платы (в эквиваленте к курсу доллара), сохранение ненапряженных норм труда и, как следствие, трудовой недозагрузки работников [5; 6].

Таким образом, анализ использования рабочего времени (на примере 4 видов экономиче-

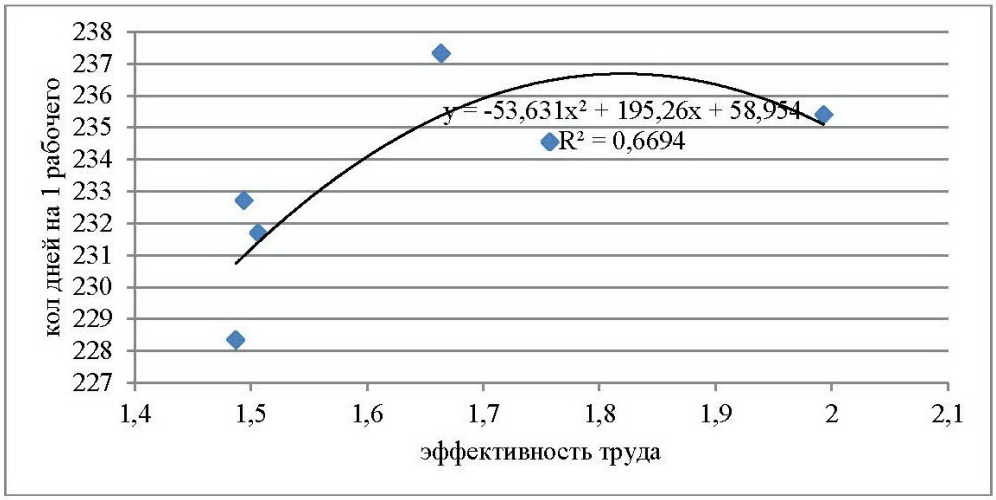


Рисунок 12 – Зависимость отработанного времени на 1 рабочего от уровня экономической эффективности труда

Таблица 1 – Характеристика экономической эффективности труда в разрезе стран

Страны	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2013	2014	2015	2016
Германия	2,3	2,3	2,3	2,2	-	-	4,7	4,8	4,8	-
Франция	2,3	2,3	2,3	2,2	-	-	4,9	4,9	4,7	-
Италия	2,8	2,8	2,8	2,9	-	-	3,8	4,0	3,9	-
Россия	3,1	2,9	2,8	2,6	-	-	3,2	3,6	3,5	-
Беларусь	-	-	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1

Источник: составлено по [3, с. 167], рассчитано по [1–2; 4].

ской деятельности) и оценка уровня его эффективности в национальной экономике Беларуси позволяет сделать следующие выводы:

– во-первых, в рамках наблюдаемого периода (2010–2015 гг.) белорусские работники стали работать меньше, причем номинально уровень их заработной платы стал выше (почти в 3,5 раза) на общем фоне стабильного количества рабочих мест. Это позволяет говорить о том, что формирование трудовых затрат в экономике Беларуси происходит не рыночным способом, а скорее институциональными методами;

– во-вторых, ресурс времени в экономике Беларуси (для 4 основных ВЭД) не достаточно полно включен в систему учета социально-трудовых затрат;

– в-третьих, тренды в использовании рабочего времени и показатели его эффективности в национальной экономике Беларуси зависят от курса национальной валюты;

– в-четвертых, для исследуемых видов экономической деятельности в Беларуси существует уровень экономической эффективности труда, при достижении которого ее дальнейшее увеличение не мотивирует работников к увеличению отработанного времени. Учет данного уровня позволяет адекватно устанавливать экономический норматив, обеспечивающий баланс принятых и уволенных, уровень загруженности работников в период рабочего времени, установление оптимальной (экономический обоснованной) численности работников;

– в-пятых, количество отработанного рабочего времени определяет уровень экономической эффективности труда в национальной экономике Беларуси. Сопоставление белорусских показателей экономической эффективности труда с аналогичными европейскими показателями позволяет говорить о невысоких их значениях, имеющих положительную динамику.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Статистический ежегодник Республики Беларусь (2016)* / Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ (дата доступа: 06.02.2017).

2. *Труд и занятость в Республике Беларусь (2016)* / Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/ (дата доступа: 06.02.2017).

3. Кузьмин В. В., Кузнецов, С. Г., и др. (2011), *Моделирование и инструментальные средства прогнозирования отработанного рабочего*

REFERENCES

1. Statistichecki ezhegodnik Respublike Belarus [Statistical Yearbook of the Republic of Belarus] (2016) / available at: http://www.belstat.gov.by (accesed 6 February 2017).

2. Trud I zanytost v Respublike Belarus [Labor and employment in the Republic of Belarus] (2016) / available at: http://www.belstat.gov.by (accesed 6 February 2017).

3. Kuzmin, V., Kuznecov, S. Modelirovanie I

времени // Режим доступа: http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-i-instrumentalnye-sredstva-prognozirovaniya-otrabotannogo-rabochego-vremeni. (дата доступа: 05.02.2017).

4. Евростат / Режим доступа: http://ec.europa.eu/eurostat/data/database. (дата доступа: 29.04.2017)

5. Ванкевич, Е. В., Зайцева, О. В. (2015), Нестандартная занятость: сущность, формы, масштабы, регулирование, *Белорусский экономический журнал*, 2015, № 3, С. 129–146.

6. Ванкевич, Е. В. (2014), *Гибкость рынка труда: единство макро- и микроподходов*, Витебск, УО «ВГТУ», 198 с.

7. Маковская, Н. В. (2012), *Формирование спроса на внутренних рынках труда организаций в Республике Беларусь*, Минск, Мисанта, 131 с.

instrumentalnue sredstva prognozirovania otrabotannogo rabochego vremeni [Modeling and tools for forecasting working hours] (2011) / available at: http://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-i-instrumentalnye-sredstva-prognozirovaniya-otrabotannogo-rabochego-vremeni. (accesed 5 February 2017).

4. Eurostat / Available at: http://ec.europa.eu/eurostat/data/database. (accesed 29 May 2017).

5. Vankevich, E. V., Zaiceva, O. V. (2015), Neatandartnaya zanyatost: suschnost, formu, macshtabu, regulirovanie [Non-standard employment: essence, form, scope, regulation], *Belorusskiy economicheskiy gurnal – Belarusian Economic Journal*, № 3, P. 129 –146.

6. Vankevich, E. V. (2014), Gibkost runka truda: edinstvo makro- i mikropodkhodov. [Flexibility of the labor market: the macro and the micro unity]. Vitebsk: VGTU. 198 p.

7. Makovskaya, N. V. (2012), Formirovanie sproca na vnutrennikh runkakh truda organizaciy v Respublike Belarus [Demand in the internel labour markets of organizations are in the Republic of Belarus], Minsk, Misanta, 131 p.

Статья поступила в редакцию 03. 04. 2017 г.

ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ МАРКЕТИНГА СПОРТА И ЕЕ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

SPORT MARKETING MODEL JUSTIFICATION AND ITS STRUCTURAL ELEMENTS

УДК 339.138:796/799

И.А. Прохоренкова*
Витебский государственный технологический университет

I. Prokhorenkova*
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МАРКЕТИНГ СПОРТА, МОДЕЛЬ МАРКЕТИНГА СПОРТА, СПОНСОРСТВО, СПОРТИВНОЕ МЕРОПРИЯТИЕ, ФИЗКУЛЬТУРНО-СПОРТИВНОЕ СООРУЖЕНИЕ, ЗРИТЕЛИ

В статье проведен теоретический анализ определений понятию маркетинг спорта, описаны существующие модели маркетинга спорта. Обоснована необходимость разработки комплексной модели маркетинга спорта, рассматривающая все его объекты.

Автором разработана модель маркетинга спорта и подробно описаны ее структурные элементы. В предложенной модели выделены две сферы применения: коммерческая и некоммерческая. Приводятся эффективные концепции маркетинга применительно к этим объектам.

В коммерческой сфере маркетинга спорта выделены и подробно изучены такие объекты, как: спортивное мероприятие, спонсорство, профессиональный спортсмен, физкультурно-спортивное сооружение.

На основании имеющейся методики для получения характеристики обеспеченности населения спортивными сооружениями был рассчитан коэффициент насыщенности по г. Минску. Автором обоснована и предложена методика расчета обеспеченности населения спортивными сооружениями при помощи коэффициента соответствия классам. Среди физкультурно-спортивных сооружений отдельно выделен и рассмотрен такой элемент как фитнес-клуб. Рассчитан коэффициент насыщенности фитнес-клубами по областным центрам Республики Беларусь.

По отношению к некоммерческой сфере мар-

ABSTRACT

SPORT MARKETING, SPORT MARKETING MODEL, SPONSORSHIP, SPORT EVENT, SPORT BUILDINGS, SPECTATORS

The article presents theoretical analysis of sport marketing definitions and the main components of modern sport marketing. The need to develop universal marketing model was proved.

Sport marketing model was developed and its main components were described. In the model sport marketing was divided in two main parts commercial and non-commercial. Effective marketing concepts regarding the developed model were described.

Within the commercial marketing such components as sport event, sponsorship, professional athletes, and a sport building were analyzed.

The market saturation coefficient of Minsk city fitness clubs was calculated on the basis of approved technique. The author offered and proved the technique of the coefficient of the square and range factor use for calculation of population sports buildings ensuring. Among sport buildings operation of fitness clubs was thoroughly analyzed.

Regarding non-commercial part of marketing practical survey of main marketing components such as the most or least age segment, main reasons of going in for fitness and it disclaimer was offered and performed. The amount of Vitebsk city residents engaged in active way of life was estimated.

In the article it was logically proved that sport marketing is a wide and actual theme affecting different areas of life of modern people and society in general.

* E-mail: *i.a.prokhorenkova@mail.ru* (I. Prokhorenkova)

кетинга спорта предложено и проведено на практике исследование по следующим направлениям: выявление наиболее/наименее спортивно активных половозрастных сегментов, изучение основных мотивов к занятиям оздоровительным фитнесом и основных причин отказа от данной деятельности. Была рассчитана доля населения г. Витебска, ведущая активный образ жизни.

Логически обосновано, что маркетинг спорта – это широкая и актуальная тема, затрагивающая различные сферы жизнедеятельности современного человека и общества в целом.

ВВЕДЕНИЕ

С каждым годом физическая активность и спорт все в большей степени проникают в повседневную жизнь людей, – повсеместно возрастает количество спортивных клубов и организаций, увеличивается число людей, приобщающихся к спорту, растет количество и качество спортивных средств массовой информации. В условиях глобализации экономических отношений, свободы передвижения людей и обмена информацией, постоянно увеличивается число спортивных болельщиков, присутствующих на соревнованиях лично, наблюдающих за ними по телевидению, слушающих радиотрансляции или обращающихся к компьютерным сетям.

Беларусь по праву считается спортивной страной. В республике приняты законодательные акты и обеспечено участие государства в развитии и финансировании физической культуры и спорта, строительстве и содержании спортивных сооружений, оздоровительных центров, спортивных клубов, подготовке специалистов в области физической культуры и спорта, спортсменов высокого класса.

Государственная программа развития физической культуры и спорта в Республике Беларусь на 2016–2020 годы разработана с учетом современных мировых тенденций в сфере физической культуры и спорта на основе комплексного анализа современного состояния данной сферы и является логическим продолжением предыдущей Государственной программы.

Целью статьи является обоснование и разработка комплексной модели маркетинга спорта.

ОБЗОР ОПРЕДЕЛЕНИЙ ПОНЯТИЯ «МАРКЕТИНГ СПОРТА»

Основоположником современного спортивного маркетинга считается Патрик Нейли, который в 1970-х годах занимался поиском спонсоров для различных спортивных соревнований. Существует лишь незначительное количество определений понятия спортивного маркетинга, и основные из них принадлежат зарубежным авторам. Рассмотрим некоторые из них. Маркетинг спорта – подразделение маркетинга, которое фокусируется на продвижении спортивных мероприятий и команд, а так же на продвижении других продуктов и услуг посредством спортивных мероприятий и команд [14]. Спортивный маркетинг – непрерывный процесс организации соревнований, результат которых неизвестен; создание возможностей для одновременного достижения прямых и косвенных целей взаимодействия с потребителями спортивных продуктов, предприятиями индустрии спорта и другими заинтересованными лицами и организациями [1, с. 703]. А. В. Малыгин [4] считает, что объектами маркетинга спорта являются спортивные продукты: события, товары, услуги (тренировки, гостеприимство, аренда) и информация, проекты, персоны (спортсмены, тренеры, менеджеры), сооружения и права (телевизионные, лицензионные, трансфертные), а также целевые аудитории. По мнению В. В. Галкина [2], спортивный маркетинг представляет собой составную часть общего маркетинга, имеющего свои специфические черты и особенности. В частности, в поле зрения спортивного маркетинга попадают такие

особые объекты и отношения, как болельщики, спонсоры, купля-продажа спортсменов, массовый спорт, спортивный бизнес, здоровый образ жизни и многое другое.

Можно заметить, что большинство авторов понятие маркетинга спорта связывают только лишь со спортивными событиями. Однако инструменты спортивного маркетинга имеют более широкие сферы применения.

Существующие модели маркетинга спорта также рассматривают его лишь с какой-то одной стороны. Например, Дж. Бич приводит пятиэтапную модель стратегического маркетингового планирования по отношению к спортивному клубу [1, с. 542]. Я. Ирвин предлагает трехуровневую схему лояльности в спорте, основным объектом которой становится спонсор [1, с. 327]. У. Шрам разработал модель процесса интегрированных маркетинговых коммуникаций в спорте, рассматривая маркетинговые сообщения между спортивным клубом и болельщиком [1, с. 315].

Таким образом, можно говорить о необходимости разработки комплексной модели маркетинга спорта, так как приведенные берут за основу лишь один из возможных объектов маркетинга спорта.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ МАРКЕТИНГА СПОРТА

Объекты спортивного маркетинга в отечественной практике можно рассмотреть согласно классификатору по видам экономической деятельности. В нем деятельность в области физической культуры и спорта включает следующее:

– деятельность физкультурно-спортивных сооружений по проведению спортивных мероприятий;

– деятельность спортивных клубов и фитнес-клубов;

– деятельность профессиональных спортсменов;

– деятельность владельцев машин, собак, лошадей и так далее, участвующих в гонках и других спортивных мероприятиях;

– деятельность спортивных тренеров, предоставляющих специализированные услуги по поддержке участников в спортивных мероприятиях и соревнованиях;

– другую деятельность по организации, содействию проведения и управлению спортивными мероприятиями, не включенную в другие группировки [7].

Маркетинг для каждого вида перечисленной деятельности будет иметь свои цели, задачи и особенности. С учетом вышеизложенного, выделим основные объекты маркетинга спорта и структурируем их в единую модель (рисунок 1).

Таким образом, предложенная модель маркетинга спорта предполагает его использование в коммерческой и некоммерческой сферах. Необходимо отметить, что выделенные объекты маркетинга спорта находятся в тесной взаимосвязи друг с другом. Так, например, создание положительного имиджа отечественного спортсмена сделает его кумиром среди населения и послужит мотивом ведения здорового образа жизни.

Как видно из рисунка, объектом маркетинга спорта в некоммерческой сфере становится население страны. Пропаганда здорового образа жизни среди – это вопрос, касающийся любого государства. Здоровье людей, развитие физической культуры и спорта провозглашено в Беларуси приоритетным направлением социальной политики. Вопросы организации физкультурно-оздоровительной работы с населением и развитие массового спорта находятся в центре внимания Президента Республики Беларусь А. Г. Лукашенко [13].

Ежегодно в Беларуси для поклонников здорового образа жизни проводится более 16 тысяч спортивных мероприятий. Традиционными стали физкультурно-спортивные соревнования «Белорусская лыжня», Всебелорусский физкультурно-спортивный праздник, посвященный Дню Независимости Республики Беларусь, Всебелорусский легкоатлетический кросс на призы газеты «Советская Белоруссия». Возрождена система республиканских отраслевых спартакиад. В стране проводятся республиканские соревнования среди детей и подростков по футболу «Кожаный мяч», гандболу «Стремительный мяч», по биатлону, лыжным гонкам и стрельбе из пневматического оружия «Снежный снайпер», а также общенациональный хоккейный турнир на призы Президентского спортивного клуба «Золотая шайба».

Выделенные в модели концепции маркетинга могут быть применены в отношении различных объектов спортивного маркетинга. Маркетинг

Рисунок 1 – Модель маркетинга спорта

Источник: собственная разработка.

взаимоотношений может использоваться между спонсором и спортивным мероприятием, между профессиональным спортсменом и населением (например, при создании фан-клуба). Событийный маркетинг может использоваться по отношению к спортивному мероприятию с целью привлечения максимального количества зрителей, а также по отношению к населению, когда речь идем о мероприятиях, пропагандирующих здоровый образ жизни.

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ МАРКТЕИНГА СПОРТА

Рассмотрим более детально объекты маркетинга в соответствии с приведенной моделью.

При проведении спортивных мероприятий маркетинг имеет две основные цели: наполняемость трибун и привлечение спонсоров. В зарубежной практике эти цели берут на себя не сами спортивные объекты во главе с их руководством, а агентства спортивного маркетинга. Количество данных агентств в России в последние годы увеличивается, и можно выделить следующие их направления деятельности:

– заключение договоров между клубом и игроком;

– доход спортсмена от внеспортивной деятельности;

– поиск спонсоров спортивных событий, заключение и обслуживание контракта;

– размещение рекламы на спортивных мероприятиях;

– организация спортивных мероприятий, их информационное обеспечение;

– разработка коммуникационной стратегии спортивной организации.

Потенциальный спонсор, прежде чем вложить денежные средства, должен выбрать наиболее

эффективный способ вложения своего капитала, то есть тот вид игр, который соберет наибольшее количество болельщиков, а, следовательно, и зрителей рекламы его товара. В таблице 1 представлен анализ интереса зрителей к различным видам спорта.

В таблице представлены результаты глобального исследования Международной федерации легкой атлетики (IAFF). Возраст аудитории: 16–65 лет, географический охват: 16 стран Европы, Азии, Америки, Африки. Объем выборки: 500 человек на каждом рынке, всего – 8 тыс. человек. Анализируя таблицу, можно сделать вывод о том, что наиболее эффективно спонсорство в футболе и автоспорте.

При проведении спортивных событий мирового уровня маркетинг спорта находит свое отражение в концепции территориального маркетинга. Именно она позволяет максимизировать положительный эффект от проведения подобных мероприятий, способствует созданию инфраструктуры, активизации бизнеса, увеличению туристического потока. Опыт городов, принимающих у себя Олимпийские игры или чемпионаты показал, что при тщательном планировании и продвижении они могут генерировать значительный прирост средств в течение длительного периода времени.

Рассматривая такой объект маркетинга спорта, как профессиональный спортсмен, необходимо отметить, что получение им прибыли возможно не только от спортивной, но также от внеспортивной деятельности. Тогда основными задачами маркетинга становятся PR личности спортсмена, ее брендирование и успешная репутация.

Обладая определенными уникальными способностями, профессиональные спортсмены являются носителями своеобразной разновидности естественной монополии. Суммы трансфертных сделок с профессиональными спортсменами нередко составляют миллионы долларов. Жизненные циклы спортсменов-профессионалов, занятых в различных видах спорта, могут существенно отличаться друг от друга. По мнению С. Б. Репкина [10], важная отличительная особенность жизненного цикла спортсмена-профессионала состоит в том, что окончание его профессиональной деятельности приходится на возраст (35–45 лет), который значительно меньше пенсионного (55–60 лет). Следовательно, выпадая из общепринятых рамок продолжительности профессиональной деятельности, профессиональный спортсмен имеет логичное право претендовать на доходы, которые не только покрывают его повседневные текущие нужды, но и могут обеспечить ему нормальное существование после завершения спортивной карьеры.

Современная Беларусь занимает достойное

Таблица 1 – Интерес к видам спорта

Вид спорта	Фанат	Интересуюсь	Интересуюсь время от времени	Не интересуюсь
Футбол	39%	16%	19%	26%
Автоспорт	31%	17%	24%	28%
Легкая атлетика	24%	20%	28%	28%
Теннис	23%	19%	28%	29%
Плавание	20%	20%	32%	28%
Гимнастика	20%	18%	30%	32%
Баскетбол	20%	17%	27%	37%
Волейбол	17%	16%	28%	39%
Велоспорт	13%	14%	29%	43%
Гандбол	10%	2%	26%	52%

Источник: [11].

место в мировом спортивном сообществе. Страна постоянно входит в двадцатку сильнейших среди более 200 спортивных держав мира, принимающих участие в Олимпийских играх.

В объекте маркетинга спорта физкультурно-спортивное сооружение основной целью использованию инструментов маркетинга будет использование свободных производственных мощностей.

В Республике Беларусь значительно укреплена и продолжает развиваться материально-техническая база спорта. В стране функционирует более 23 тысяч физкультурно-спортивных сооружений. Каждый областной центр Беларуси имеет собственный дворец спорта, крытую ледовую площадку. Все больше крупных объектов строится в регионах.

Новые подходы к рациональному развитию спортивного сектора экономики требуют решения проблем оптимизации развития и эксплуатации сети спортивных сооружений. А. Р. Лавриенко [9] предлагает использовать для расчета статистической характеристики обеспеченности населения спортивными сооружениями коэффициент насыщенности ($K_н$) и предлагает следующую формулу:

$$K_н = \frac{C}{Ч} \times n\ , \qquad (1)$$

где C – количество физкультурно-спортивных сооружений населенного пункта; $Ч$ – численность населения данного населенного пункта; n – расчетная численность населения, $n = \overline{1;Ч}$, например, 1000, 10000, 100000 и человек.

Коэффициент насыщенности характеризует количество физкультурно-спортивных сооружений, приходящихся на каждые 1000 (10000 и так далее) человек населения.

В г. Минске функционирует 3781 объект физкультурно-спортивного назначения, в том числе 7 манежей, 711 спортивных залов, 23 стадиона, 1577 плоскостных спортивных сооружений, 57 плавательных бассейнов. 153 мини-бассейна, 874 приспособленных помещений для занятий физической культурой и спортом [5]. Тогда коэффициент насыщенности физкультурно-спортивными сооружениями для г. Минска будет рассчитан следующим образом:

$$K_н = 3781 / 1\,959\,781 \times 100 = 0{,}19. \qquad (2)$$

Как можно заметить, существующая методика А. Р. Лавриенко предполагает учет лишь количества физкультурно-спортивных объектов. Однако для расчета обеспеченности населения такими сооружениями целесообразно учитывать их возможность удовлетворять спортивно-тренировочную потребность различного уровня и профиля. Данный показатель будет выражен в классовости физкультурно-спортивных объектов. Наличие в населенном пункте сооружений всех классов будет давать максимально высокий коэффициент. Согласно Постановлению Министерства спорта и туризма Республики Беларусь от 5 сентября 2014 г. № 58, все физкультурно-спортивные объекты подразделяются на высшую, I (первую), II (вторую), III (третью) и IV (четвертую) категории, из которых четвертая категория является низшей [8].

В зависимости от категории основные параметры сооружения позволяют обеспечить:

– при наличии высшей категории – подготовку спортивного резерва, спортсменов высокого класса, проведение международных, республиканских, областных (г. Минска), районных (городских, за исключением г. Минска) спортивных и спортивно-массовых мероприятий, физкультурно-оздоровительной работы;

– при наличии I категории – подготовку спортивного резерва, спортсменов высокого класса, проведение республиканских, областных (г. Минска), районных (городских, за исключением г. Минска) спортивных и спортивно-массовых мероприятий, физкультурно-оздоровительной работы;

– при наличии II категории – подготовку спортивного резерва, проведение республиканских, областных (г. Минска), районных (городских, за исключением г. Минска) спортивных и спортивно-массовых мероприятий, физкультурно- оздоровительной работы;

– при наличии III категории – подготовку спортивного резерва, проведение областных, районных (городских, за исключением г. Минска) спортивных и спортивно-массовых мероприятий, физкультурно-оздоровительной работы;

– при наличии IV категории – проведение спортивно-массовых мероприятий, физкультурно-оздоровительной работы.

Следовательно, максимальное количество классов физкультурно-спортивных сооружений равно пяти.

Тогда коэффициент соответствия классам физкультурно-спортивных объектов населенного пункта будет рассчитан по следующей формуле:

$$K_{кл} = \frac{Кл}{Кл_{макс}}, \quad (3)$$

где $K_{кл}$ – коэффициент соответствия классам; $Кл$ – количество классов физкультурно-спортивных сооружений в населенном пункте; $Кл_{макс}$ – максимальное количество классов физкультурно-спортивных сооружений в населенном пункте (равно 5).

Представленный метод позволяет проводить оценку для любых населенных пунктов. Методика имеет практическое применение при оценке инвестиционной привлекательности регионов, так как большее количество физкультурно-спортивных сооружений позволяет привлекать как зрителей спортивных мероприятий, так и профессиональных спортсменах на сборах.

НЕКОММЕРЧЕСКАЯ СФЕРА МАРКЕТИНГА СПОРТА

Объектом некоммерческой сферы маркетинга спорта становится население станы. Основные цели маркетинговой деятельности – улучшение показателей здоровья нации, увеличение продолжительности жизни. Это может быть реализовано посредством таких инструментов маркетинга, как: демаркетинг отдельной категории товаров (сигареты, алкоголь), социальная реклама и т. д.

В соответствии с Концепцией национальной безопасности Республики Беларусь, утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. № 575 «Об утверждении Концепции национальной безопасности Республики Беларусь», повышение общего уровня здоровья населения входит в число основных национальных интересов.

Уже с начала 2017 года в Минске прошло несколько массовых спортивных мероприятий. Минский полумарафон, прошедший 10 сентября 2017 года, собрал 30 тысяч человек: как профессиональных спортсменов, так и бегунов-любителей. Забег проходит с 2015 года. В столичном парке Победы 26 августа 2017 г. впервые прошел благотворительный парный забег «1+1» с целью помочь детям с тяжелыми заболеваниями. Преодолеть дистанцию можно было как самостоятельно, так и с начинающим бегуном. Именно с этого мероприятия началась десятидневная благотворительная акция «Velcome – бегом». 13 августа в парке Победы прошел благотворительный «Онкомарафон» на дистанции 5 км. От каждого зарегистрированного участника 5 рублей были направлены на лечение детей.

Таким образом, Минск стремительно догоняет европейские столицы по числу спортивных инициатив.

Высокая продолжительность жизни, хорошие показатели здоровья населения увеличивают производительность труда, а, следовательно, положительно влияют и на ВВП. Ведение активного образа жизни зачастую заложено в стиле жизни отдельных стран. Например, 69 % населения Швейцарии в возрасте от 15 до 74 лет ведут активный образ жизни. Самыми популярными видами спорта здесь являются лыжи, бег трусцой и тренировки в фитнес-центрах. Фактор спортивной активности населения является одним из составляющих высокой продолжительности жизни в стране. Швейцария находится на 4 месте по продолжительности жизни. По данным швейцарского Федерального ведомства статистики (BFS), средняя продолжительность жизни мужчин в стране составляет 79,7 года, женщин – 84,3 года. Республика Беларусь находится лишь на 103 месте по продолжительности жизни, Россия – на 122 [12].

Также по отношению к населению страны маркетинг спорта может ставить перед собой целью работу с неблагополучной ее частью. Применяемые инструменты – приобщение к спортивному образу жизни. Например, в 2016 г. в г. Бресте было предоставлено бесплатное посещение спортивных сооружений для 250 подростков, состоящих на учете в органах внутренних дел, а также для подростков, воспитывающихся в неблагополучных семьях.

Таким образом, важным инструментом маркетинговой деятельности здесь является исследование мотивации занимающихся, выявление причин отказа от ведения активного образа жизни, выявление основных потребностей и предпочтений по половозрастным категориям. С этой целью был проведен опрос жителей г. Витебска. В нем приняло участие 235 человек.

Как показали исследования, 41,7 % респондентов ведут активный образ жизни. Результаты по отдельным половозрастным категориям представлены в таблице 2.

По результатам проведенного исследования можно увидеть, что наиболее активными сегментами являются мужчины и женщины в возрасте от 16 до 25 лет. В наибольшей степени это связано с возрастом, наличием свободного времени и отсутствием семьи. Что касается видов спорта, то здесь исследуемые отдают предпочтение тренажерному залу (мужчины), аэробике и танцевальными направлениями (девушки). В обоих случаях основной мотивацией в этом возрасте является желание хорошо выглядеть.

У исследуемых в возрасте от 26 до 35 лет так же явно наблюдается положительная статистика занятия спортом (как у мужчин, так и у женщин), но она не так велика как в случае с первым сегментом. Это связано с появлением семьи и постоянным рабочим местом. Мужчины этого возраста все так же отдают свое предпочтение тренажерному залу. Женщины в свою очередь начинают все чаще заниматься йогой, пилатесом, и прогулками на велосипедах. Мужчины мотивируют себя желанием хорошо выглядеть и быть сильными, женщины же поднятием настроения и укреплением здоровья и иммунитета.

Сегмент в возрасте от 36 до 45 лет становится менее активным, некоторые занимаются физическими упражнениями дома. Мужчины и женщины этого возраста, как правило, начинают отдавать предпочтение сезонным видам спорта, таким как: лыжи, прогулки на велосипедах. Из постоянного вида спорта оба пола выбирали бассейн и мотивировали себя укреплением здоровья и иммунитета.

Старшее поколение (46–55 лет) ведут активный образ жизни только в 32 % случаев, предпочитают посещать бассейн и заниматься физическими упражнениями самостоятельно. Мотивируют они себя хорошим настроением и укреплением здоровья.

Особое внимание уделяется совершенствованию физического воспитания детей и учащейся молодежи. По всей стране для них организуются подростковые спортивные клубы. В Беларуси работают учебные центры для подготовки профессиональных спортсменов, в том числе Белорусский государственный университет физической культуры, училища олимпийского резерва, специализированные школы олимпийского резерва, более 185 детско-юношеских спортивных школ.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что маркетинг спорта – это широкая и актуальная тема, затрагивающая различные сферы жизнедеятельности современного человека и общества в целом.

Таблица 2 – Исследование спортивной активности населения

Пол / Возраст	Мужчины		Женщины	
	Ведут активный образ жизни	**Не ведут**	**Ведут активный образ жизни**	**Не ведут**
16–25	12	10	18	12
26–35	10	14	18	22
36–45	8	12	13	20
46–55	8	22	11	25
Итого	38	58	60	79
	96		139	

Источник: составлено автором.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бич, Дж. (2015), *Маркетинг спорта*, Москва: Альпина Паблишер, 706 с.

2. Галкин, В. В. (2006), *Экономика спорта и спортивный бизнес: учебное пособие*, Москва: КНОРУС, 320 с.

3. *Демографический ежегодник Республики Беларусь (2016)*. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/, (дата доступа: 25.01.2016).

4. Малыгин, А. В. (2012), Введение в спортивный маркетинг, *Вестник Российского международного олимпийского университета*, 2012, № 1 (2), С. 32–46. (3)

5. Минск активный. *Управление спорта и туризма Мингорисполкома*. Режим доступа: http://minsksport.by/ru/minsk-aktivnuj, (дата доступа: 10.03.2017).

6. Моделирование расчета маркетингового потенциала на рынке фитнес-услуг. Кочеткова, И. А. *В сборнике: Моделирование в технике и экономике сборник материалов международной научно-практической конференции.* Главный редактор: Ванкевич Е. В. 2016. С. 322–324.

7. *Общегосударственный классификатор Республики Беларусь ОКРБ 005-2011 «Виды экономической деятельности»*. [Электронный ресурс]. Национальный Интернет-портал Республики Беларусь. Режим доступа: http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/klassifikatory/20005-2011_30_12_2016.pdf , (дата доступа 17.03.2017).

8. *Об утверждении Инструкции о классификации физкультурно-спортивных сооружений Республики Беларусь и требованиях к их работе*, Постановление Министерства спорта и туризма Республики Беларусь 5 сентября 2014 г. № 58, Национальный правовой Интернет-портал

REFERENCES

1. Beach, J. (2015), *Markiting sporta* [Sport marketing], Moscow, Alphine Publisher, 706 p.

2. Galkin, V. V. (2006), *Economika sporta i sportivny biznes* [Economy and Business of Sport], Moscow, KNORUS, 320 p.

3. Nacional'nyj Internet-portal Respubliki Belarus' [National Internet-portal of Republic of Belarus], (2016), available at: http://www.belstat.gov.by/ (accessed 25 January 2016).

4. Malyigin, A. V. (2012), Introduction to sport marketing [Vcedenie v sportivny marketing], *Bullent of the Russian International Olympic University*, 2012, № 1 (2), pp. 32–46 .

5. Active Minsk. The Department of sport and tourism of Minsk city Executive Committee. Mode of access: http://minsksport.by/ru/minsk-aktivnuj, (date of access: 1 of March 2017).

6. Modeling the calculation of the marketing potential in the market of fitness services [Modelirovanie rascheta marketingovogo potentsiala na ryinke fitnes-uslug], Kochetkova I A. Modeling in engineering and Economics, Materials of the International scientific-practical conference, Vitebsk, 2016, pp. 322–324.

7. National classifier of the Republic of Belarus OKRB 005-2011 «Kinds of economic activities» [Electronic resource] Nacional'nyj Internet-portal Respubliki Belarus', available at: http://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/klassifikatory/20005-2011_30_12_2016.pdf, (date of access: 17 of March 2017).

8. *About approval of the Instruction about classification of fitness and sports facilities of the Republic of Belarus and requirements of their work,* The resolution of the Ministry of sport and tourism of the Republic of Belarus of 5 September 2014 No. 58, [Electronic

Республики Беларусь [Электронный ресурс], Режим доступа: http://www.sporteducation.by/img/file/NORMATIVNIE_DOCYMENT.pdf. (дата доступа: 01.02.2017).

9. Панков, Д. А. (2014), *Экономика спортивных организаций: учебно-методическое пособие*, Минск, БГЭУ, 221 с.

10. Репкин, С. Б. Экономическая оценка человеческого капитала и эффективность его использования инвестором в игровых видах спорта: диссертация на соискание ученой степени кандидата экономических наук: 08.00.05, Минск, Белорусский государственный экономический университет, Минск, 2008, 112 л.

11. Савицкий, В. (2008), Спорт и маркетинг: что общего? *Новый маркетинг*, 2008, № 2, режим доступа: http://www.management.com.ua/marketing/mark182.html.

12. Список стран по ожидаемой продолжительности жизни (2016), Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki, (дата доступа: 25.01.2016).

13. Спорт. *Официальный интернет-портал президента Республики Беларусь*. Режим доступа: http://president.gov.by/ru/sport_ru/, (дата доступа 17.03.2017).

14. Sportivny marketing [Sports marketing], (2016), available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Sports_marketing (accessed 25 January 2016).

resource], Minsk, 2009, available at: http://www.sporteducation.by/img/file/NORMATIVNIE_DOCYMENT.pdf. (accessed 2 February 2017).

9. Pankov, L. A. *Economics of sport establishments: study guide* [Jekonomika sportivnyh organizacij. Uchebno-metodicheskoe posobie], Minsk, BSEU, 2014, 221 p.

10. Repkin, S. B. Jekonomicheskaja ocenka chelovecheskogo kapitala i jeffektivnost' ego ispol'zovanija investorom v igrovyh vidah sporta: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kandidata jekonomicheskih nauk: 08.00.05 [Economic estimation of human capital and effectiveness of using it by investor in competitive sports: paper on applying degree as PhD of Economics: 08.00.05] / S.B. Repkin. – Minsk, 2008, 112p.

11. Savizkiy, V. (2008), Sports and marketing: what's in common?, *New marteting*, №2, available at: http://www.management.com.ua/marketing/mark182.html

12. Spisok stran po ozhidaemoj prodolzhitel'nosti zhizni [List of countries by expecting longevity], (2016), available at: ttps://ru.wikipedia.org/wiki (accessed 25 January 2016).

13. Sport. The official Internet portal of the President of the Republic of Belarus. Mode of access: http://president.gov.by/ru/sport_ru/, (date of access 17.03.2017).

14. Sportivny marketing [Sports marketing], (2016), available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Sports_marketing (accessed 25 January 2016).

Статья поступила в редакцию 03. 03. 2016 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеева Елена Анатольевна	– магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Менеджмент», Витебский государственный технологический университет
Брайкова Алла Мечиславовна	– кандидат химических наук, доцент кафедры «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
Вашук Владимир Васильевич	– доктор химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории магниевых соединений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Гафуров Жахонгир Кабулович	– доктор технических наук, ведущий научный сотрудник, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
Гафуров Кабул	– кандидат технических наук, профессор кафедры «Технология шелка и прядения», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
Голубев Алексей Николаевич	– старший преподаватель кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
Гончаров Вадим Александрович	– студент, Витебский государственный технологический университет
Гречаников Александр Викторович	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Грузневич Екатерина Сергеевна	– магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Денисович Василий Алексеевич	– кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела углеводных адсорбентов медицинского и экологического назначения, Институт сорбции и проблем эндоэкологии Национальной академии наук Украины
Зайцева Ольга Вячеславовна	– магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Менеджмент», Витебский государственный технологический университет

Замостоцкий Евгений Геннадьевич	– кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Логистика и менеджмент», Международный университет ВФ «МИТСО»
Захаренко Александр Васильевич	– начальник участка керамики, ОАО «Обольский керамический завод»
Зимина Елена Леонидовна	– кандидат технических наук, докторант кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Казарновская Галина Васильевна	– кандидат технических наук, профессор кафедры «Дизайн и мода», Витебский государственный технологический университет
Касаева Тамара Васильевна	– кандидат технических наук, заведующий кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Кириллов Алексей Геннадьевич	– кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Машины и аппараты легкой промышленности», Витебский государственный технологический университет
Ковчур Андрей Сергеевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
Ковчур Сергей Григорьевич	– доктор технических наук, профессор кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Коган Александр Григорьевич	– доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Конёк Денис Александрович	– научный сотрудник лаборатории калийных удобрений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Костин Павел Андреевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Математика и информационные технологии», Витебский государственный технологический университет
Кулик Татьяна Игоревна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханические системы», Киевский национальный университет технологий и дизайна
Купчик Лидия Андреевна	– кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела углеводных адсорбентов медицинского и экологического назначения, Институт сорбции и проблем эндоэкологии Национальной академии наук Украины

Маковская Наталья Владимировна	– доктор экономических наук, заведующий кафедрой «Экономика и управление», Могилевский государственный университет им. А.А. Кулешова
Манак Павел Иванович	– директор, ОАО «Обольский керамический завод»
Мардонов Батыржан	– доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Первичная обработка хлопка», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности
Матвейко Николай Петрович	– доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
Матрунчик Юлия Владимировна	– кандидат химических наук, старший научный сотрудник, лаборатория полимерсодержащих дисперсных систем, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Мацукевич Ирина Васильевна	– кандидат химических наук, заведующий лабораторией магниевых соединений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Ничик Оксана Васильевна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Биохимия и экологический контроль», Национальный университет пищевых технологий
Полховская Ольга Васильевна	– лаборант лаборатории магниевых соединений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Протасов Семен Корнеевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Физикохимия материалов и производственных технологий», Белорусский государственный экономический университет
Прохоренкова Ирина Александровна	– магистр экономических наук, ассистент кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Пятов Владислав Владимирович	– доктор технических наук, профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроительного производства», Витебский государственный технологический университет
Рахматов Салахиддин Нармумунович	– старший научный сотрудник, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности

Садовский Виктор Васильевич	– доктор технических наук, профессор, первый проректор, Белорусский государственный экономический университет
Сакевич Валерий Николаевич	– доктор технических наук, профессор кафедры «Физика и техническая механика», Витебский государственный технологический университет
Салавор Оксана Мирославовна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Биохимия и экологический контроль», Национальный университет пищевых технологий
Скобова Наталья Викторовна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Сынюк Олег Николаевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Машины и аппараты», Хмельницкий национальный университет
Цынкович Оксана Геннадьевна	– магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Чарковский Александр Владимирович	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Шевчук Вячеслав Владимирович	– доктор химических наук, доцент, заведующий отделом минеральных удобрений, Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси
Шелег Валерий Константинович	– доктор технических наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси, заведующий кафедрой «Технология машиностроения», Белорусский национальный технический университет
Ширяев Павел Сергеевич	– студент, Витебский государственный технологический университет
Щелкунова Злата Игоревна	– экономист, иностранное общество с ограниченной ответственностью «СОЮЗ-КАБЕЛЬ»

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aliakseyeva Alena	– Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department "Management", Vitebsk State Technological University
Braikova Ala	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Physics of Materials and Manufacturing Technologies", Belarus State Economic University
Vashook Vladimir	– Senior Researcher, Laboratory of the Magnesium Compounds, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Gafurov Jakhongir	– Doctor of Science (in Engineering), leading researcher, Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Gafurov Kabul	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technology of Silk and Cotton", Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Holubeu Aliaksei	– Senior Lecturer of the Department "Machine-Building Technology and Equipment", Vitebsk State Technological University
Goncharov Vadim	– a student, Vitebsk State Technological University
Hrachanikau Aliaksandr	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Environment Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University
Gruznevitch Kate	– Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department "Economics", Vitebsk State Technological University
Denisovich Vasiliy	– Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Researcher of the Department of Carbohydrate Adsorbents for Medical and Environmental Purposes, Institute of Sorption and Problems of Endoecology, National Academy of Sciences of Ukraine
Zaitseva Olga	– Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department "Management", Vitebsk State Technological University

Zamostotskiy Yauheni	– Candidate of Sciences (in Engineering), head of the department Associate Educational institutions Federation of Trade Unions of Belarus «International University "MITSO" Vitebsk branch
Zakharenka Aliaksandr	– Supervising foreman of ceramic section, JSC "Obolsky ceramic plant"
Zimina Alena	– Candidate of Sciences (in Engineering), a postdoctoral student at the Department "Textile Technology", Vitebsk State Technological University
Kazarnovskaya Galina	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Fashion Design and Fashion", Vitebsk State Technological University
Kasayeva Tamara	– Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department "Economics", Vitebsk State Technological University
Kirillov Aleksey	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Machines and Apparatus of Light Industry", Vitebsk State Technological University
Kauchur Andrei	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Machine Building Technology and Equipment", Vitebsk State Technological University
Kauchur Siarhei	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at Department "Environment Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University
Kogan Alexander	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at Department "Textile Technology", Vitebsk State Technological University
Kaniok Denis	– Researcher, Laboratory of Potassium Fertilizers, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Kostsin Pavel	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "MaIT", Vitebsk State Technological University
Kulik Tetiana	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Electromechanical Systems", Kyiv National University of Technologies and Design

Kupchik Lidija	– Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Researcher of the Department of Carbohydrate Adsorbents for Medical and Environmental Purposes, Institute of Sorption and Problems of Endoecology, National Academy of Sciences of Ukraine
Makovskaya Nataliya	– Doctor of Science (in Economics), Chair of the Department "Economic and Managment", Mogilev State University A. Kuleshov
Manak Pavel	– director, JSC "Obolsky ceramic plant"
Mardonov Batirjon	– Doctor of Science (in Physics and Mathematics), Professor at the Department "Primarily Cotton Treatment", Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Matveika Mikalai	– Doctor of Science (in Chemistry), Professor, Chair of the Department "Physics and Chemistry of Materials and Manufacturing Technologies", Belarus State Economic University
Matrunchik Julia	– Candidate of Sciences (in Chemistry), Senior Researcher, Laboratory of Polymer-Containing Disperse Systems, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Matsukevich Irina	– Candidate of Sciences (in Chemistry), Head of Laboratory of the Magnesium Compounds, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Nychyk Oksana	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Biochemistry and Environmental Control", National University of Food Technologies
Polhovskya Olga	– Assistant, Laboratory of the Magnesium Compounds, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Pratasau Siamen	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Physics and Chemistry of Materials and Manufacturing Technologies", Belarus State Economic University
Prokhorenkova Irina	– Master of Economic Sciences, an assistant professor at the Department "Economic Theory and Marketing", Vitebsk State Technological University
Pyatov Vladislav	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technology and Equipment of Machine-building Production", Vitebsk State Technological University

Rakhmatov Salakhiddin	– Senior researcher, Tashkent Institute of Textile and Light Industry
Sadovski Viktor	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, First Vice-Rector of Belarus State Economic University
Sakevich Valerij	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at Department “Physics and Technical Mechanics”, Vitebsk State Technological University
Salavor Oksana	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Biochemistry and Environmental Control”, National University of Food Technologies
Skobova Natallia	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Textile Technology”, Vitebsk State Technological University
Synyuk Oleh	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Machinery and Apparatus”, Khmelnitsky National University
Tsynkovich Oksana	– Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department “Economics”, Vitebsk State Technological University
Charkovskij Alexander	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Textile Technology”, Vitebsk State Technological University
Shevchuk Viacheslau	– Doctor of Science (in Chemistry), Associate Professor, Chair of the Department “Mineral Fertilizers”, Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus
Sheleg Valery	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Corresponding member of NAS of Belarus, Chair of the Department “Machine Building Technology”, Belarus National Technical University
Shyrayeu Pavel	– a student, Vitebsk State Technological University
Shchelkunova Zlata	– economist, Foreign Society with Limited Liability “SOYUZ-KABEL”

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 редакторов. 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), *Poslednee pravitelstvo SSSR* [Last government of the USSR], Moscow, Krom Publ., 221 p. Kanevskaya, R.D. (2002), *Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov* [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], *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, 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, *Journal of Computer-Mediated Communication,* Vol. 5, № 2, available at: www.ascusc.org/ jcmc/ vol 5/ issue 2/.
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, *Proceedings of the 6th International Technological Symposium*, Moscow, 2007, pp. 267-272.
Электронные источники	*APA Styl*e (2011), available at: http: //www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (accesed 5 February 2011). Pravila Tsicirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources], (2011), available at: http: //www.scribd.com/doc/1034528/ (accesed 7 February 2011).

Характеристика источника	Рекомендации по оформлению русскоязычного библиографического описания
Книга	Ненашев, М.Ф. (1993), *Последнее правительство СССР*, Москва, Кром, 221 с. Каневская, Р.Д. (2002), *Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов*, Ижевск, 140 с.
Статья из журнала	Загуренко, А.Г., Коротовских, В.А., Колесников, А.А., Тимонов, А.В., Кардымон, Д.В. (2008), Технико-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, *Нефтяное хозяйство*, 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, *Труды 6-го Международного технологического симпозиума*, 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 Eguation 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 подрисуночную 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 ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (33)

Дизайн **Погорельская С.И.**

Вёрстка **Погорельская С.И.**

Редактор **Медведева Н.В.**

Подписано в печать 22.12.2017. Печать ризографическая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 24,3. Уч.-изд. листов 19,1. Формат 60x90 $^{1}/_{8}$. Тираж 100 экз. Заказ № 218.

Свёрстано и подготовлено к печати редакционно-издательским отделом Витебского государственного технологического университета
210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 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.