

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

ВЕСТНИК

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 2 (43)

ВИТЕБСК 2022

MINISTRY OF EDUCATION OF THE REPUBLIC OF BELARUS
EDUCATIONAL INSTITUTION
"VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY"

VESTNIK

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 2 (43)

VITEBSK 2022

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 Беларуси Рубаник В.В. (ИТА НАН Беларуси)
- зам. редактора – проф. Буркин А.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Абрамович Н.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Башметов В.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Вертешев С.М. (ПсковГУ, Российская Федерация)
- к.т.н. Гусаров А.М. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Джежора А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Казарновская Г.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Киосев Й. (Высшая школа Нидеррейна, Германия)
- проф. Кирсанова Е.А. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Коган А.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Корниенко А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Милашиус Р. (Каунасский технологический университет, Литва)
- проф. Ольшанский В.И. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Панкевич Д.К. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Пятов В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Разумеев К.Э. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Садовский В.В. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- проф. Сакевич В.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- к.ф.м.н. Салак А.Н. (Университет Авейро, Португалия)
- проф. Сункуев Б.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Ташпулатов С.Ш. (Ташкентский институт легкой промышленности, Узбекистан)
- проф. Шустов Ю.С. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)

Химическая технология и экология

- редактор – доц. Ясинская Н.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- зам. редактора – доц. Гречаников А.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- член-кор. Академии инженерных наук Украины Власенко В.И. (Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина)
- нс Дутчик В. (Институт по исследованию полимеров, Германия)
- проф., акад. НАН Беларуси Лиштван И.И.
- проф., член-кор. НАН Беларуси Пантелеенко Ф.И. (БНТУ, Республика Беларусь)
- доц. Скобова Н.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Стёпин С.Г. (ВГМУ, Республика Беларусь)
- доц. Щербина Л.А. (БГУТ, Республика Беларусь)

Экономика

- редактор – проф. Яшева Г.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- зам. редактора – доц. Касаева Т.В. (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)
- к.э.н. Зайцева О.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Коробова Е.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- 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)
- доц. Слонимская М.А. (ПГУ, Республика Беларусь)
- доц. Советникова О.П. (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», наукометрические базы Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ), научную электронную библиотеку «КиберЛенинка».

Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72, тел.: 8-0212-49-53-38

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», 2022

Editorial Board:

Prof. Kuzniatsou A.A., Editor-in-Chief
Prof. Vankevich A.V., Deputy Editor-in-Chief
Prof. Ryklin D.B., Executive secretary

Thematic Editors

Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building

- Corresponding Member of Belarus NAS, Prof. Rubanik V.V., Editor (Institute of Technical Acoustics of Belarus NAS)
- Prof. Burkin A.N., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Abramovich N.A. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Bashmetau V.S. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Verteshev S.M. (PskovSU, Russian Federation)
- Cand. Sc. (Eng) Husarau A.M. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Jezhora A.A. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Kazarnovskaya G.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Yordan Kyosev (Hochschule Niederrhein, Germany)
- Prof. Kirsanova E.A. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Prof. Kogan A.G. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Kornienko A.A. (VSTU, Republic of Belarus)
- Rimvydas Milašius (Kaunas University of Technology, Lithuania)
- Prof. Olshansky V.I. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Pankevich D.K. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Pyatov V.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Razumeev K.E. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Prof. Sadovsky V.V. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Sakevich V.N. (VSTU, Republic of Belarus)
- Salak A.N., Researcher, University of Aveiro (Portugal)
- Prof. Tashpulatov S.S. (Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan)
- Prof. Sunkuev B.S. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Shustov Yu.S. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)

Chemical Technology and Ecology

- Assoc. Prof. Yasinskaya N.N., Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Grechanikov A.V., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Correspondent Member of the Engineering Academy of Ukraine Vlasenko V.I. (Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine)
- Dutschik V., Researcher (The Institute of Polymer Research, Dresden, Germany)
- Academician of the Belarus NAS, Prof. Lishvan I.I.
- Correspondent Member of the Belarus NAS, Prof. Panteleenko F.I. (BNTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Skobova N.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Stepin S.G. (VSMU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Shcherbina L.A. (BSUFT, Republic of Belarus)

Economics

- Prof. Yasheva G.A., Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Kasaeva T.V., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Bogdan N.I. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Bykau A.A. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Varshavskaya E.Ya. (National Research University "Higher School of Economics", Russian Federation)
- Cand. Sc. (Econ) Zaitseva O.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Korobova E.N. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Makhotaeva M.Yu. (PskovSU, Russian Federation)
- Prof. Menshikov V.V. (Daugavpils University, Latvia)
- Prof. Nekhorosheva L.N. (BSEU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Prakofyeva N.L. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Slonimska M.A. (PSU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Sovetnikova O.P. (VSTU, Republic of Belarus)

The journal is registered in the Belarus Higher Attestation Commission Catalogue of scientific publications on results of dissertation research, and indexed in the National information Analysis System "Russian Science Citation Index", Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) academic databases, the CyberLeninka scientific electronic library.

Republic of Belarus, Vitebsk, Moscovsky pr, 72, tel.: 8-0212-49-53-38

Certificate of State Registration of the publisher, producer, and distributor of printed media No. 1/172 issued on February 12, 2014.

Certificate of State Registration of the publisher, producer, and distributor of printed media No. 3/1497 issued on February 30, 2017.

СОДЕРЖАНИЕ

Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения

Гусева М.А., Андреева Е.Г., Рогожина Ю.В.

Цифровая технология Machine Vision для бесконтактного контроля качества изготовления одежды..... 10

Демидова М.А., Рыклин Д.Б.

Технология получения наноструктурных изделий из электроформованных нетканых материалов..... 19

Довыденкова В.П., Ольшанский В.И.

Обеспечение положительной плавучести при проектировании водотермостойкой одежды специального назначения..... 33

Ивашко Е.И., Панкевич Д.К.

Паропроницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным.....47

Рыклин Д.Б., Дубровская О.А.

Оценка экранирующих свойств тканей, защищающих от воздействия электромагнитного излучения..... 53

Филипчик А.В., Ковалевич В.С., Качанов И.В., Шаталов И.М.

Применение технологии гидроабразивной очистки металлических поверхностей от коррозии для повышения скорости лазерной резки..... 64

Шермет Е.А., Шевцова М.В., Шеверина Л.Н.

Исследование устойчивости специальной обуви к воздействию агрессивных сред.....71

Химическая технология и экология

Городнякова И.С., Пчелова Н.В., Будкуте И.А., Щербина Л.А.

Структурно-морфологические особенности и свойства волокон, формируемых на основе поли[акрилонитрил-со-метилакрилат-со-итаконической кислоты] по диметилформамидному способу.....82

Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н.

Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина.....94

Томашева Р.Н., Карелина И.В.

Технология производства и оценка качества кож из шкур страуса..... 104

Чикунская В.М., Щербина Л.А., Огородников В.А., Будкуте И.А.
Сорбционная активность материалов на основе волокнообразующего сополимера акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфоуксиды..... 119

Ясинская Н.Н., Ленько К.А., Марущак Ю.И.
Энергосберегающая технология подготовки хлопчатобумажных тканей к крашению 126

Экономика

Алексеева Е.А., Скакалова А.С., Халецкая В.О.
Цифровые навыки для развития текстильной, швейной и обувной промышленности..... 135

Колокольчикова А.С., Ванкевич Е.В.
Инфраструктура рынка ценных бумаг Республики Беларусь: характеристика и анализ базовых элементов 145

Немкина П.О., Касаева Т.В.
Скоринговые модели в анализе доходов и расходов организации 158

Слонимская М.А., Веретенникова Е.С.
Концепция кластерных цепей поставок как инструмент формирования региональной логистической системы..... 169

Советникова О.П., Петрова А.В.
Необходимость модернизации сельского хозяйства в Республике Беларусь в условиях цифровой экономики 181

Шерстнева О.М.
Исследование развития организаций промышленности Республики Беларусь для внедрения стратегии «умной специализации» 192

Яшева Г.А., Николаева Ю.Н., Кондратьева В.Д.
Кластерная политика в странах Европейского союза и Республике Беларусь: компаративный анализ 203

Ящук А.И.
Старение населения: проблема и пути решения..... 218

Страницы истории Витебского государственного технологического университета

Толочко Н.К.
Аддитивные технологии в Беларуси: как все начиналось..... 230

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ..... 239

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»247

CONTENTS

Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building

Guseva Marina, Andreeva Elena, Rogozhina Yuliya

Machine Vision Digital Technology for Non-Contact Quality Control of Garment Manufacturing 10

Demidova Maria, Ryklin Dzmitry

Technology for Producing Nanostructured Products from Electrospun Nonwoven Materials..... 19

Davydzenkava Vera, Alshanski Valeri

Provision of Positive Buoyancy when Designing Water-Heat-Resistant Clothing for Special Purpose..... 33

Ivashko Katsiaryna, Pankevich Darya

Vapor Permeability of Membrane Textile Materials under Near-Operational Conditions47

Ryklin Dzmitry, Dubrouskaya Volha

Evaluation of the Shielding Properties of Fabrics Protecting Against Electromagnetic Radiation 53

Filipchik Aleksej, Kovalevich Vitalij, Kachanov Igor, Shatalov Igor

Application of the Technology of Hydrojet Cleaning of Metal Surfaces from Corrosion to Increase the Speed of Laser Cutting.....64

Sheremet Elena, Shevtsova Marina, Sheverinova Liliya

Study of the Resistance of Special Footwear to Aggressive Environments..... 71

Chemical Technology and Ecology

Haradniakova Iryna, Pchelova Natallia, Budkute Iryna, Shcherbina Leonid

Structural and Morphological Features and Properties of Fibers, Formed on the Basis of Poly[Acrylonitrile-Co-Methylacrylate-Co-Itaconic Acid] by the Dimethylformamide Method.....82

Lisouski Dmitry, Yasinskaya Natalia

Effect of Enzymatic Treatment on the Properties of Linen Cottonin 94

Tomasheva Rita, Karelina Iryna

Production Technology and Quality Assessment of Ostrich Skins..... 104

Chygunskaya Vera, Shcherbina Leonid, Ogorodnikov Valery, Budkute Iryna

Sorption Activity of Materials Based on a Fiber-Forming Copolymer of Acrylonitrile and 2-Acrylamid-2-Methylpropanesulfonic Acid..... 119

Yasinskaya Natalia, Lenko Ksenia, Maruschak Yulia Energy-Saving Technology of Preparing Cotton Fabrics for Dyeing.....	126
--	-----

Economics

Aliakseyeva Alena, Skakalova Anna, Khaletsкая Valeriya Digital Skills for Textile, Apparel and Shoe Industry Development.....	135
---	-----

Kolokolchikova Alina, Vankevich Alena Infrastructure of The Securities Market of the Republic of Belarus: Characteristics and Analysis of the Basic Elements	145
---	-----

Nemkina Polina, Kasayeva Tamara Scoring Models in the Analysis of Income and Expenses of the Organization.....	158
--	-----

Slonimska Marina, Veratsennikava Alena Cluster Supply Chain Concept as a Tool of Regional Logistics System Development	169
--	-----

Sovetnikova Olga, Petrova Anastasiya The Need to Modernize Agriculture in the Republic of Belarus in the Conditions of the Digital Economy.....	181
--	-----

Sherstneva Olga Research on the Development of Industry Organizations of the Republic of Belarus for the Implementation of the "Smart Specialization" Strategy	192
---	-----

Yasheva Galina, Nikolaeva Yuliya, Kondratieva Veronika Cluster Policy in the European Union Countries and the Republic of Belarus: a Comparative Analysis	203
--	-----

Yashchuk Anna Population Ageing: the Problem and Solutions.....	218
---	-----

The Pages of History of Vitebsk State Technological University

Tolochko Nikolay Additive Technologies in Belarus: How it All Began.....	230
--	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	239
--------------------------------	-----

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY».....	247
---	-----

ЦИФРОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ MACHINE VISION ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОДЕЖДЫ

MACHINE VISION DIGITAL TECHNOLOGY FOR NON-CONTACT QUALITY CONTROL OF GARMENT MANUFACTURING

УДК 687

М.А. Гусева*, Е.Г. Андреева, Ю.В. Рогожина

*Российский государственный университет
имени А.Н. Косыгина*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-10-18>

M. Guseva*, E. Andreeva, Yu. Rogozhina

*The Kosygin State University
of Russia*

РЕФЕРАТ

*ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ШВЕЙНЫЕ ИЗДЕЛИЯ,
КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ, МА-
ШИННОЕ ЗРЕНИЕ*

*Несмотря на многолетний опыт автоматизи-
зации, до сих пор этап контроля качества гото-
вой продукции не переведен в цифровой формат.
На швейных предприятиях традиционно выяв-
ление брака в партиях готовой одежды выпол-
няется контактным способом сотрудниками
отдела технического контроля.*

*Целью исследования является разработка
способа распознавания технологических и
конструктивных дефектов, снижающих сорт-
ность продукции, для дистанционного мони-
торинга качества швейных полуфабрикатов
и готовой продукции с помощью программно-
аппаратного комплекса компьютерного зрения.*

*Анализ существующих способов иденти-
фикации визуальной информации показал, что для
достижения поставленной задачи применим
каскадный классификатор Хаара, позволяющий с
высокой степенью достоверности распознавать
сканированные объекты, сопоставляя характе-
ристики образов с шаблонами.*

*Авторами разработан программно-аппарат-
ный комплекс GarmentScanner, который посред-
ством машинного зрения считывает визуальную
информацию, классифицирует ее с использо-
ванием алгоритма Viola/Jones на основе расчета
суммарной яркости пикселей в произвольных*

ABSTRACT

*DIGITALIZATION, GARMENTS, MANUFACTURING
QUALITY CONTROL, MACHINE VISION*

*Despite many years of automation experience,
the final inspection stage has not yet been digitized.
At sewing enterprises, traditionally, the detection of
defects in batches of finished clothes is carried out
by contact method by the employees of the technical
control department.*

*The aim of the study is to develop a method for
recognizing technological and design defects that
reduce the grade of products for remote monitor-
ing of the quality of sewing semi-finished products
and finished products using a computer vision soft-
ware-and-hardware complex.*

*An analysis of the existing methods for identify-
ing visual information has shown that to achieve the
task, the Haar cascade classifier can be used, which
makes it possible to recognize scanned objects with
a high degree of reliability by comparing the charac-
teristics of images with templates.*

*The authors have developed the GarmentScan-
ner software and hardware system, which reads vi-
sual information using machine vision, classifies it
using the Viola/Jones algorithm based on the calcu-
lation of the total brightness of pixels in arbitrary
rectangular areas, and performs metric actions. At
the current stage of the study, the GarmentScanner
software works with photographic images of finished
products of flat shapes (t-shirts, shorts). The follow-*

* E-mail: guseva_marina67@mail.ru (M. Guseva)

прямоугольных областях, выполняет метрические действия. На текущем этапе исследования программный аппарат *GarmentScanner* работает с фотоизображениями готовых изделий плоских форм (майки, трусы, футболки). В качестве тестируемых атрибутов выделены: координаты базовых и реперных точек на изделии (в соответствии с модельными особенностями), симметричность контура, соответствие габаритов конкретной модели эталонному образцу (согласно табелю мер).

Апробация работы *GarmentScanner* проводится на аутсорсинговых швейных предприятиях Китая, сотрудничающих с российскими дизайн-бюро. Дополнительным эффектом от применения *GarmentScanner* стало снижение конфликтных ситуаций на производстве, возникающих на фоне различного толкования заказчиками из России и аутсорсинг-подрядчиками понятия «качество изготовления продукции и ее отбраковка».

ing attributes were selected as the tested attributes: the coordinates of the base and reference points on the product (in accordance with the model features); the symmetry of the contour; the conformity of the dimensions of a particular model to the reference sample (according to the table of measures).

*Approbation of *GarmentScanner* work is carried out at outsourcing sewing enterprises in China, cooperating with Russian design agencies. An additional effect from the use of *GarmentScanner* was the reduction of conflict situations in production, arising against the background of different interpretations by customers from Russia and outsourcing contractors of the concept of "production quality and its rejection".*

Introduction

The priority task facing society is the widespread adoption of digital technology, both in industry and in "information processing and storage and access to knowledge" [1]. The modern stage of technology development is called the Fourth Industrial Revolution. The main distinction of the newest technological breakthroughs was the introduction of robotic flow production and the widespread replacement of computing operations (information collection and processing) by computer systems. The transformation of the classic technologies of the "machine revolution of the twentieth century" into a digital environment embraced many industries. Digitalization and automation of production processes are widespread in such industries as electronics, automotive and aircraft design, pharmaceuticals, and the production of food semi-finished products [2].

In conveyerized production environments, quality control has been entrusted to automated machine vision systems. With the introduction of the computer method of scanned information processing, the productivity of flow production and the detectability of defects has increased significantly. Hardware-and-software systems

read visual information, classify it, and perform metric operations. Robots process information from video sequences or scans of objects much faster than the factory staff, with an accuracy that is inaccessible to humans. At the same time, the computer program is trained to perform actions similar to the thinking activity of the human brain when analyzing images [3]. The software apparatus of modern machine vision complexes is an artificial intelligence, capable of adapting to the tasks at hand, programmed to be teachable [4]. Software intellectualization is based on the use of the method of processing the input information using neural networks [5], when the video sequence or a set of scans-copies is divided by the program toolkit into many blocks and layers [6] with subsequent complex systematization and provision of output parameters in accordance with the purpose of research, i.e., identification.

The most common method of object recognition by computer vision is based on comparing image characteristics with templates [7]. The essence of the method is that the computer program algorithm compares frame-by-frame images of video sequences with information stored in a database about variants of configuration of an

object as a whole, its parts and positioning of informative points [8], about background, color combinations inside the object, etc. At the output the operator of the hardware-and-software complex of machine vision receives the conclusion about the presence of the object in a particular digital video or photogrammetry, or confirmation of its absence, the characteristic of the parameters within the framework of the task. This method of identification is used in programs to recognize license plates; text in general and handwriting, in particular; as well as subjects (confirmation of identity).

The execution of an image recognition procedure by a computer program is a complex task based on machine learning. Efficient ways of detection are cascade Haar classifiers [9]. Program training is based on the analysis of pixel images with positive (presence of an object) and negative (absence of an object) search features. The Haar features (filters) are positioned in rectangular black and white areas. The computer program moves the search area in the image, summarizes the pixel intensity in each area, and calculates the difference between the sums in the black and white areas, which is the desired parameter.

Identification of objects/subjects by machine vision is successfully used in modern security systems, in video traffic surveillance, in store windows, in bank terminals, and in forensics.

Current state of the problem

The process of garment production automation began in the second half of the twentieth century. Information technologies are successfully used in the process of clothing design (design, modeling, grading), at the stages of cutting and technological preparation. Video is used to analyze the quality of thread joints in seams by a computer program [10]. Designers master three-dimensional sketching [11] and virtual fitting [12]. With the spread of the Internet, the availability of scanning equipment, and the development of applied information technologies, the use of machine vision for assessing the quality of garment production becomes promising [13].

Modern clothing production, like many other industries, is subject to the laws of the market. More than 30 years ago, with the consolidation of outsourcing in the international system of

labor's division, there was a territorial division of manufacturing firms and design agencies. There appeared companies-contractors specializing in the preparation and execution of orders in certain phases of sewing production. The most common outsourcing firms are in China, India, Pakistan, Bangladesh, Myanmar, Vietnam. Russian fashion design agencies actively cooperate with outsourcing contractors. The advantage of such a tandem is the availability of labor resources and high-tech cutting and sewing equipment at outsourcing firms.

With the attraction of outsourcing specialists from Asian countries to the fashion business, the Russian clothing market has been filled with Fast fashion products. Many Fast fashion clothing models are characterized by uncomplicated shaping and simple execution. Therefore, sewing outsourcing companies, at times, recruit low-skilled staff to the workshops. This approach is often accompanied by miscommunication in the issues of interpreting the quality of production and its rejection between customers from Russia and outsourcing contractors [14]. Traditionally, at clothing companies the detection of defects in batches of finished clothing is performed in a contact manner by employees of the technical control department (Figure 1). The work of a QCD inspector is associated with physical and emotional stress. Frequent change of assortment, significant volumes of production batches lead to rapid fatigue of the person, the inspector loses sharpness of vision, which leads to inadequate inspection and appearance of defective products in the batch of industrial products. Outsourcing cooperation includes visits to factories by Russian technologists. The technologist inspector checks the entire technological process, and especially the quality control stage of finished products. Interethnic differences in attitudes toward labor and language barriers are the main factors that complicate the activities of a technologist inspecting an outsourcing sewing company.

The aim of the study is to develop a method for recognizing technological and design defects that reduce the grade of products for remote monitoring of the quality of sewing semi-finished products and finished products using a computer vision software-and-hardware complex.



Figure 1 – Garment Quality Control Department (Bangladesh)

The authors propose an innovative way of non-contact quality control of garment manufacturing using computer vision software and hardware. This impersonal method of control is aimed not only at reducing conflict situations in outsourcing production, but also at optimizing production – machine vision can detect technological and design defects that reduce the grade of products.

Method of research

In the study presented, the capabilities of hardware computing, basics of metrology, elements of basic theory on computer image processing, postulates of analytical geometry and vector algebra, knowledge from areas of computer graphics are applied.

Research result

The GarmentScanner machine vision hardware and software package [15] developed by the authors is an innovative product that has no analogues in Russia. The program algorithm is written in OpenCV, compiled on the .NET platform, used by the Python program. The purpose of GarmentScanner is to detect technological defects in the production of flat-shaped garments by photo-images of objects. The recognition tool is

the neural network model of image analysis using Haar cascades. The program algorithm includes the following stages: computational operations to determine the coordinates of informative points and parameters of the sections of the objects under study; calculation of the position of the symmetry axis of the products; coding of the contour of each model sample.

GarmentScanner software works with the photo images of the finished products of flat shapes (T-shirts, underpants). The initial task of the program is to analyze the images by machine vision, detect and remove defective scans or "noises". To train the system, databases containing images of technological defects [16] and digital measurement scales [17] of research objects have been developed. In the course of express monitoring conducted by the authors at outsourced enterprises, it was found that the most significant technological defects that can be identified by machine vision are:

1. Non-compliance of measurements affecting the fit of the ready garment.
2. Curve neckline.
3. Curve bottom.

4. Different sleeves length.
5. Curve stitch.
6. Broken stitch.
7. Dirty spots.
8. Fabric defects.
9. Different length of side seams.
10. Asymmetric print.

In accordance with the experiment plan, to rank the identified groups of defects on a 10-point scale, experts-technologists, controllers of the clothing factories, representatives of design agencies and trade organizations were involved. It was found that the most significant, reducing the quality of products are "Non-compliance of measurements affecting the fit of the ready garment" (8.5 points), "Curve neckline" (8.1 points), Different sleeves length (6.5 points), "Curve bottom" (5.5 points). Therefore, the GarmentScanner algorithm includes functions to identify technological defects associated with the asymmetry of products acquired during manufacturing.

The process of scanning finished products by the GarmentScanner computer vision system is performed on a specially designed stand (Figure

2), including: a tabletop; a webcam and a tripod for fixing it; additional light sources; a computer; a server.

The functions of GarmentScanner were tested at the outsourcing company "Far East" (PRC). The cascade model of clothes scan recognition sequentially activates various classifiers, which allows the program to accurately parameterize products (Figure 3). The attributes to be tested are the following: coordinates of base and reference points on the product (in accordance with the model features); the symmetry of the contour; the correspondence of the dimensions of a particular model to the reference sample (according to the table of measures).

To form the adequacy of GarmentScanner, special attention is paid to the stage of searching for the background color solution for scan image positioning. It has been empirically established that a bright acid pink shade of the background is the most acceptable, as this color is the least used in coloring materials for modern industrial collections of Fast fashion clothes. The choice of color contrast for the background and the

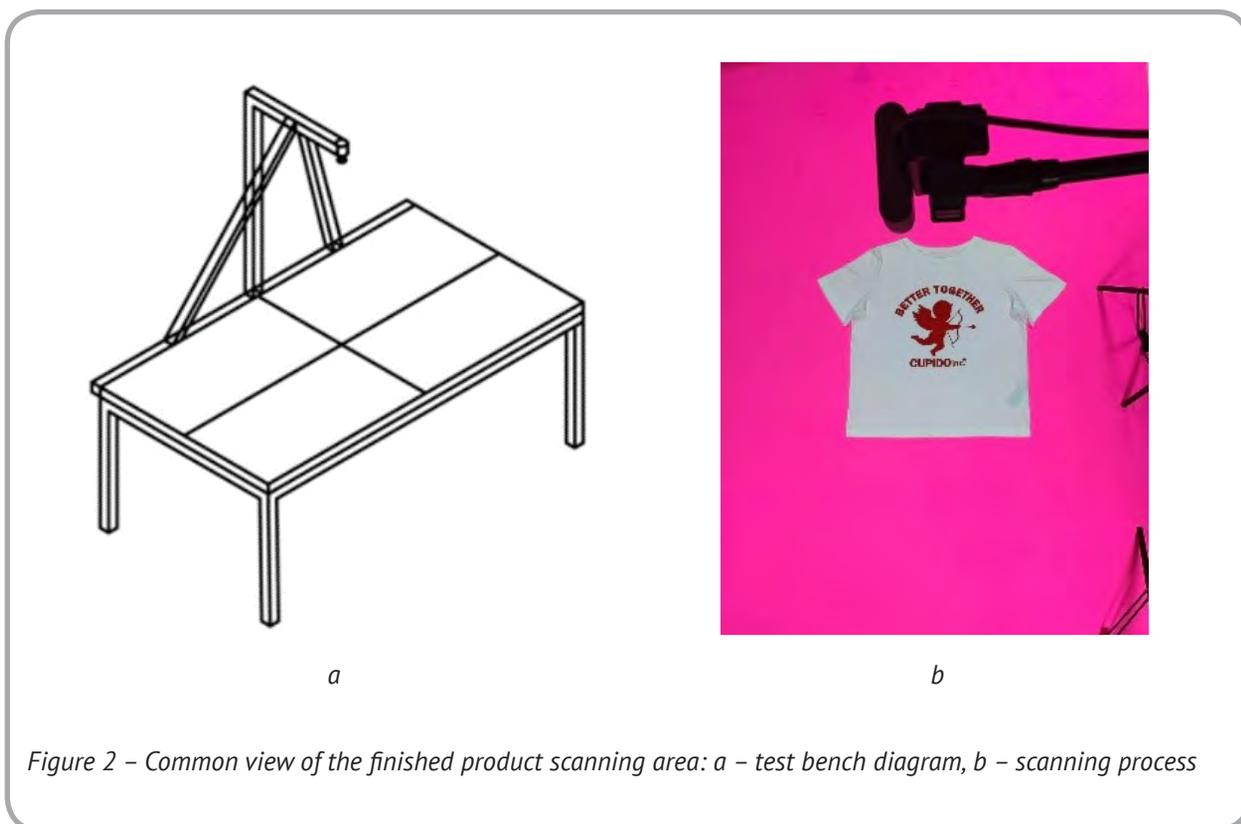
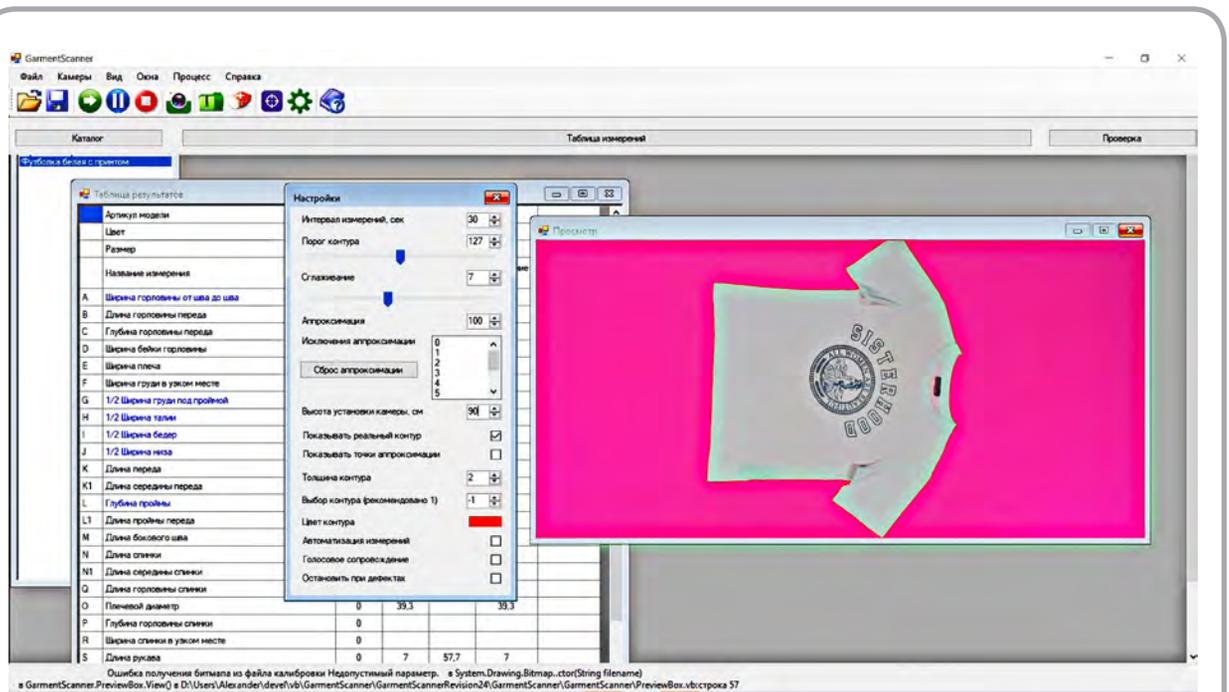
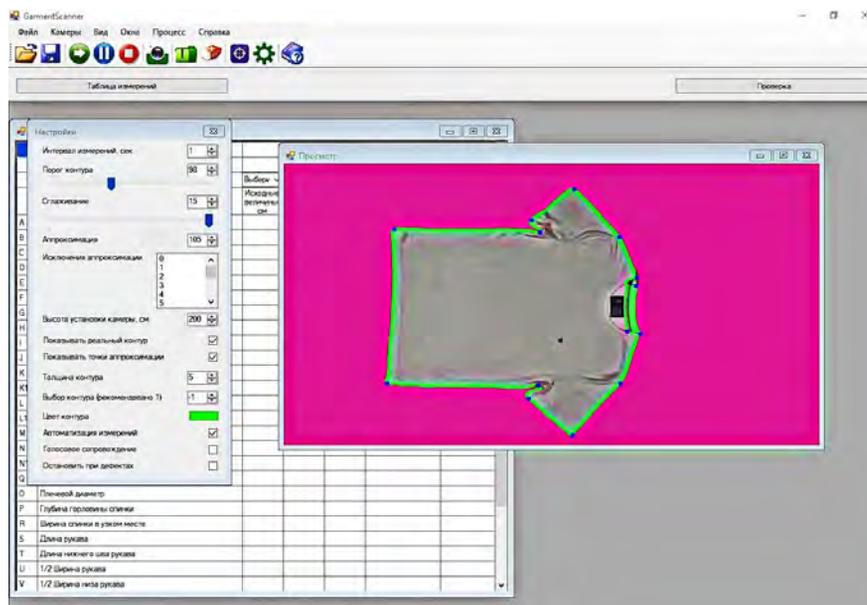


Figure 2 – Common view of the finished product scanning area: a – test bench diagram, b – scanning process



a



b

Figure 3 – GarmentScanner windows, visualizing the functions: a – measurement of the product dimensions, b – conclusion of the program about the similarity/differences of the parameters with the table of measures

product is very important, because it can provoke the formation of artificial informational "noise" – interference in the process of recognition of objects by machine vision. In cases where the color solutions in the product (both for the main material

of the confection-package and for the finishing elements) and the background of the scan-copy coincide, the program merges these objects into one which leads further computational operations to inadequacy.

Conclusion

GarmentScanner machine vision software-and-hardware complex is an innovative product for digitalization of the final quality control stage of garment manufacturing. Non-contact method of detecting defects in industrial batches of garments allows inspections not only directly at outsourcing companies, but also remotely, from any region of the world. The accuracy and speed of measurements performed by GarmentScanner are much higher than similar actions performed in manual mode.

The development of possibilities of application of machine vision systems in sewing production is aimed at creation of neural networks for identification of images of sewing products of complex cut, recognition of technological defects, which reduce visual characteristics of models, such as different shades of materials, curvature of stitches and seams.

The article was prepared based on the materials of the report of the 'INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI-2022)'; which took place on November 23–24, 2022 at the educational institution "Vitebsk State Technological University" (Republic of Belarus).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Schwab, K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution (Top Business Awards)*, Eksmo, 138 p.
2. Steger, C., Ulrich, M., Wiedemann, C. (2018), *Machine Vision Algorithms and Applications*, Weinheim:Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 516 p.
3. Dai, W., Dai, C., Qu, S., Li, J., Das, S. (2017), Very deep convolutional neural networks for raw waveforms, *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2017, pp. 421–425.
4. Hopfield, J. J. (1982), Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1982, Vol. 79, Is. 8., pp. 2554–2558.
5. Yosinski, J., Clune, J., Nguyen, A., Fuchs, T., Lipson, H. (2015), Understanding neural networks through deep visualization, *Proceedings*

REFERENCES

1. Schwab, K. (2016), *The Fourth Industrial Revolution (Top Business Awards)*, Eksmo, 138 p.
2. Steger, C., Ulrich, M., Wiedemann, C. (2018), *Machine Vision Algorithms and Applications*, Weinheim:Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, 516 p.
3. Dai, W., Dai, C., Qu, S., Li, J., Das, S. (2017), Very deep convolutional neural networks for raw waveforms, *Proceedings of the 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 2017, pp. 421–425.
4. Hopfield, J. J. (1982), Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1982, Vol. 79, Is. 8., pp. 2554–2558.
5. Yosinski, J., Clune, J., Nguyen, A., Fuchs, T., Lipson, H. (2015), Understanding neural networks through deep visualization, *Proceedings*

- of *International Conference on Machine Learning, Deep Learning Workshop*, 2015, p. 12.
6. Brown, L. (1992), A survey of image registration techniques, *Proceedings of ACM Computing Surveys*, 1992, Vol. 24, № 1, pp. 325–376.
 7. Nazil, P., Darshan, K., Ishan, B. (2013), An overview on template matching methodologies and its applications, *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, 2013, Vol. 2, № 10, pp. 988–995.
 8. Foresight, D., Pons, J. (2018), *Компьютерное зрение. Современный подход*, Москва, 2018, 960 p.
 9. Viola, P., Jones, M. (2001), Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, Vol. 1, pp. 511–518.
 10. Шеромова, И. А., Старкова, Г. П., Дремлюга, О. А. (2016), Применение компьютерных технологий при оценке качества ниточных соединений, *Современные наукоёмкие технологии. Технические науки*, 2016, № 12, с. 299–303.
 11. Алибекова, М. И., Белгородский, В. С., Андреева, Е. Г. (2021), Инновационные технологии в эскизном и художественном проектировании объемных форм костюма, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2021, № 3, с. 102–106.
 12. Petrosova, I. A., Andreeva, E. G., Guseva, M. A. (2019), The system of selection and sale of ready-to-wear clothes in a virtual environment, *International Science and Technology Conference "EastConf", Vladivostok, Russia*, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/EastConf.2019.8725390.
 13. Rogozhina, Iu., Guseva, M., Andreeva, E. (2022), Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision, *Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon*
- of *International Conference on Machine Learning, Deep Learning Workshop*, 2015, p. 12.
 6. Brown, L. (1992), A survey of image registration techniques, *Proceedings of ACM Computing Surveys*, 1992, Vol. 24, № 1, pp. 325–376.
 7. Nazil, P., Darshan, K., Ishan, B. (2013), An overview on template matching methodologies and its applications, *International Journal of Research in Computer and Communication Technology*, 2013, Vol.2, № 10, pp. 988–995.
 8. Foresight, D., Pons, J. (2018), *Komp'yuternoe zrenie. Sovremennyy podhod* [Computer vision. A modern approach], Москва, 2018, 960 p.
 9. Viola, P., Jones, M. (2001), Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, *Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2001, Vol. 1, pp. 511–518.
 10. Sheromova, I. A., Starkova, G. P., Dremlyuga, O. A. (2016), Application of computer technologies in assessing the quality of thread connections [Primenenie komp'yuternykh tehnologij pri ocenke kachestva nitochnykh soedinenij], *Modern science-intensive technologies Technical sciences*, 2016, № 12, pp. 299–303.
 11. Alibekova, M. I., Belgorodsky, V. S., Andreeva, E. G. (2021), Innovative technologies in sketch and artistic design of three-dimensional costume forms [Innovacionnyye tehnologii v jeskiz-nom i hudozhestvennom proektirovanii ob'emnykh form kostjuma], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstilnoi Promyshlennosti*, 2021, № 3, pp. 102–106.
 12. Petrosova, I. A., Andreeva, E. G., Guseva, M. A. (2019), The system of selection and sale of ready-to-wear clothes in a virtual environment, *International Science and Technology Conference "EastConf", Vladivostok, Russia*, 2019, pp. 1–5. doi: 10.1109/EastConf.2019.8725390.

- 2021". *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2019, vol. 275, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27.
14. Гусева, М. А., Гетманцева, В. В., Андреева, Е. Г., Рогожина, Ю. В., Смирнов, В. Б. (2020), Цифровизация дефектов одежды для оптимизации аутсорсингового изготовления «Fast Fashion» коллекций, *Дизайн и технологии*, 2020, № 75 (117), с. 36–44.
15. Рогожина, Ю. В., Гусева, М. А., Андреева, Е. Г., Белгородский, В. С., Данильченко, А. О., Слободян, М. В. (2021), *GarmentScanner*, Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021617946 RUS. Оpubл. 20.05.2021, бюл. № 5.
16. Рогожина, Ю. В., Гусева, М. А., Андреева, Е. Г., Белгородский, В. С., Глебова, Т. Г. (2020), *Базовые цифровые шкалы технологических дефектов швейных изделий, определяемых техническими средствами идентификации*, Свидетельство о регистрации базы данных № 2020621712 RUS, опубл. 18.09.2020, бюл. № 9.
17. Гусева, М. А., Рогожина, Ю. В., Андреева, Е. Г., Белгородский, В. С., Глебова, Т. Г. (2020), *Цифровые шкалы измерений швейных изделий для автоматизированного контроля качества*, Свидетельство о регистрации базы данных № 2020622292 RUS, опубл. 16.11.2020, бюл. № 11.
13. Rogozhina, Iu., Guseva, M., Andreeva, E. (2022), Garment Production Quality Evaluation Using Machine Vision, *Proceeding of the International Science and Technology Conference "FarEastCon 2021"*. *Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2019, vol. 275, Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-8829-4_27.
14. Guseva, M. A., Getmantseva, V. V., Andreeva, E. G., Rogozhina, Yu. V., Smirnov, V. B. (2020), Digitalization of clothing defects for optimization of outsourcing manufacturing of "Fast Fashion" collections [Cifrovizacija defektov odezhdy dlja optimizacii autsorsingovogo izgotovlenija «Fast Fashion» kolekcij], *Dizajn i tehnologi – Design and technology*, 2020, № 75 (117), pp. 36–44.
15. Rogozhina, Iu. V., Guseva, M. A., Andreeva, E. G., Belgorodsky, V. S., Danilchenko, A. O., Slobodyan, M. V. (2021), *GarmentScanner*, Svidetel'stvo o registracii programmy dlja JeVM [Certificate of registration of computer programs], № 2021617946 RUS, opub. 20.05.2021, bul. № 5.
16. Rogozhina, Iu. V., Guseva, M. A., Andreeva, E. G., Belgorodsky, V. S., Glebova, T. G. (2020), *Bazovye cifrovye shkaly tehnologicheskikh defektov shvejnykh izdelij, opredeljaemyh tehničeskimi sredstvami identifikacii* [Basic digital scales of technological defects of garments determined by technical means of identification], Svidetel'stvo o registracii bazy dannyh [Database registration certificate] № 2020621712 RUS, opub. 18.09.2020, bul. № 5.
17. Guseva, M. A., Rogozhina, Iu. V., Andreeva, E. G., Belgorodskii, V. S., Glebova, T. G. (2020), *Cifrovye shkaly izmerenij shvejnykh izdelij dlja avtomatizirovannogo kontrolja kachestva* [Digital measurement scales for garments for automated quality control], Certificate of registration of the database № 2020622292 RUS, opub. 16.11.2020, bul. № 11.

Статья поступила в редакцию 31. 05. 2022 г.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ НАНОСТРУКТУРНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЭЛЕКТРОФОРМОВАННЫХ НЕТКАНЫХ МАТЕРИАЛОВ

TECHNOLOGY FOR PRODUCING NANOSTRUCTURED PRODUCTS FROM ELECTROSPUN NONWOVEN MATERIALS

УДК 677.494

М.А. Демидова*, Д.Б. Рыклин

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-19-32>**M. Demidova*, D. Ryklin**

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ, ПОЛИВИНИЛОВЫЙ СПИРТ, ГЛИЦЕРИН, ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА, РАДИАЦИОННАЯ СТЕРИЛИЗАЦИЯ

Объект исследования – технология получения изделий на основе водорастворимых нановолокнистых материалов, вырабатываемых методом электроформования. Целью работы являлась разработка технологических рекомендаций по производству нановолокнистых водорастворимых материалов и установление рациональных параметров проведения процесса электроформования. В результате экспериментальных исследований получена модель, описывающая влияние электрического потенциала эмиттера и расстояния от эмиттера до коллектора на расход формовочного раствора при стабильном протекании процесса электроформования, а также модель для упрощенных расчетов, позволяющих определить значения расхода формовочного раствора, в зависимости от электрического потенциала эмиттера. Установлена зависимость оптимальных значений электрических потенциалов эмиттера и коллектора. Определено влияние радиационной стерилизации на свойства нановолокнистых материалов медицинского назначения, предложена рациональная доза облучения. Предложены параметры эффективного процесса электроформования нановолокнистых материалов различной структуры.

ABSTRACT

ELECTROSPINNING, POLYVINYL ALCOHOL, GLYCERIN, PROCESS PARAMETERS, NANOFIBER DIAMETER

The object of research is the technology for making products based on water-soluble electrospun nanofibrous materials. The aim of the work was to develop technological recommendations for the production of nanofibrous water-soluble materials and to determine rational parameters for the electrospinning process. As a result of experimental studies, a model was produced that describes the effect of the electric potential of the emitter and the distance from the emitter to the collector on the consumption of the spinning solution with a stable electrospinning process. A model for simplified calculations has been developed, which makes it possible to determine the values of the spinning solution consumption depending on the electric potential of the emitter. The dependence of the optimal values of the electric potentials of the emitter and collector was determined. The influence of radiation sterilization on the properties of nanofiber materials for medical application was determined and a rational dose of radiation is proposed. The parameters of an efficient process of electrospinning of nanofibrous materials of various structures are proposed.

* E-mail: demidova.mariya00@gmail.com (M. Demidova)

Электроформование является универсальным методом производства волокон в микро- и нанометровом диапазоне, позволяющим вырабатывать материалы, покрытия и конструкции с использованием широкого спектра исходных компонентов от природных биополимеров до синтетических. Оно считается перспективной и уникальной благодаря относительной простоте, наличию широкого спектра используемых полимеров, экономичности и достаточно высокой производительности [1].

В последние годы интерес к получению электроформованных нановолокнистых материалов всё больше растет, что связано с уникальными свойствами получаемых нановолокон, таких как как большая площадь поверхности на единицу массы, высокая пористость, малый размер межволоконных пор и высокая газопроницаемость. Эти свойства делают их эффективными для использования в различных областях знания – текстильной, сельскохозяйственной, электронной и сенсорной, создании водоочистных и воздушных фильтров, медицинской, косметической, фармацевтической промышленности и многих других [2], [3].

Для получения электроформованных медицинских материалов из раствора могут быть использованы различные виды полимеров, среди которых выделяют синтетические (поливиниловый спирт, полистирол, поливинилхлорид, полилактид) и природные (коллаген, хитозан, желатин, альгинат) [4], [5], [6]. Для получения прядильных растворов применяют разнообразные растворители: спирты, диметилсульфоксид, дихлорметан, хлороформ, диметилформамид, тетрагидрофур, трифторэтанол и другие [4].

Со стороны медицины и фармацевтики в ряде случаев востребованы нановолокнистые материалы, покрытия и структуры, отвечающие повышенным требованиям к безопасности, таким как биосовместимость, нетоксичность, водорастворимость, химическая стабильность и др. Необходимо отметить, что свойства волокнообразующих полимеров, используемых растворителей, а также конкретная область применения вырабатываемых нановолокнистых материалов оказывают существенное влияние как на режимы процесса электроформования, так и в ряде случаев на последовательность технологических

операций.

В связи с этим целью исследований являлась разработка технологических рекомендаций по производству нановолокнистых водорастворимых материалов и установление рациональных параметров проведения процесса электроформования.

Выработать необходимые по качественным характеристикам нановолокна можно управляя основными факторами электроформования, поскольку они непосредственно влияют на диаметр и морфологию получаемых волокон. В литературе приводятся основные требования, предъявляемые к производимым нановолокнам [7]:

- 1) диаметры волокон должны быть согласованными и контролируруемыми;
- 2) поверхность волокна должна быть бездефектной или иметь контролируемый дефект;
- 3) получаемые непрерывные одиночные нановолокна должны быть собираемыми на коллекторе.

Схема технологического процесса производства изделий на основе водорастворимых нановолокнистых материалов представлена на рисунке 1.

В данной работе при проведении исследований электроформование нановолокнистых покрытий, материалов и структур осуществлялось на установке Fluidnatek LE-50. На данной установке раствор полимера подается в зону электроформования через капилляр. Высокое напряжение, создающееся за счет разности положительного электрического потенциала прядильной головки (эмиттера) и отрицательного электрического потенциала осадительного электрода (коллектора), индуцирует в растворе полимера одноименные электрические заряды, которые, в результате кулоновского электростатического взаимодействия, приводят к многократному расщеплению и вытягиванию струй раствора полимера. Нановолокна наносятся на материал подложки, закреплённой на коллекторе, представляющем собой вращающийся барабан.

Возможность регулирования основных параметров процесса электроформования позволяет управлять структурой и морфологией получаемых нановолокнистых материалов. Среди основ-

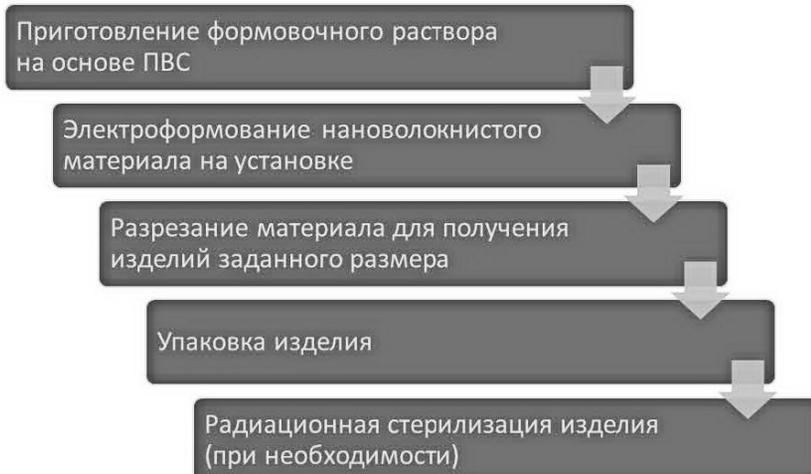


Рисунок 1 – Технология получения изделий из электроформованных нетканых нановолокнистых материалов

ных параметров процесса выделяют потенциалы эмиттера и коллектора, расход волокнообразующего раствора, расстояние между электродами.

Напряжение электрического поля в межэлектродном пространстве является решающим фактором в электроформовании, поскольку пороговое значение напряжения должно быть превышено для выброса заряженных струй из конуса Тейлора. После достижения порогового напряжения происходит образование волокон, что приводит к необходимым изменениям в растворе под действием электрического поля и начинается процесс электроформования [8, 9].

Влияние напряжения на протекание процесса электроформования широко изучено, и существуют различные точки зрения на этот вопрос. Ренекер и другие показали, что при электроформовании полиэтиленоксида подаваемое напряжение не оказывает существенного влияния на диаметр волокна [10]. Группой ученых Китая при исследовании влияния напряжения на морфологию волокон поливинилового спирта в водном растворе и распределения их диаметров было установлено, что при более высоких значениях напряжения происходит больший выброс полимера, что способствует образованию большего диаметра волокна [11]. Другие исследователи отмечают, что рост подаваемого напряжения

способствует уменьшению диаметра волокна из-за увеличения электростатической силы отталкивания на заряженной струе. Также при более высоком напряжении наблюдалось образование бисера [12, 13].

Расстояние между наконечником прядильной головки и коллектором входит в число параметров, влияющих на процесс электроформования, хотя его влияние на него не так существенно влияет на морфологию волокон по сравнению с другими параметрами процесса. Оптимальное расстояние должно быть выбрано для того, чтобы обеспечить испарение растворителя из раствора полимера.

Для описания количества получаемых электроформованием нановолокон, материалов, покрытий и конструкций в литературе используется параметр расхода волокнообразующего полимера. Расход прядильного раствора, определяющий производительность процесса электроформования, можно варьировать в значительных пределах. Нижний предел ограничен, главным образом, требованием стабильности дозирования через прядильную головку, а верхний – временем отверждения волокон, то есть скоростью испарения растворителя и расстоянием между электродами [14]. Рекомендуется медленная подача полимера для того, чтобы

обеспечить достаточное время для испарения растворителя. Высокий расход приводит к появлению бисера [8], при этом слишком низкий расход хотя и обеспечивает стабильность процесса, не позволяет проводить его рационально, поскольку требует существенных временных затрат для производства нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций.

На основании предварительных исследований [15] было установлено, что приготовление прядильного раствора рационально осуществлять из 14%-го поливинилового спирта марки Arkofil и дистиллированной воды. ПВС является одним из наиболее перспективных полимеров для получения нановолокнистых материалов, что связано с его доступностью, относительно невысокой стоимостью, растворимостью в воде, биосовместимостью, отсутствием токсического эффекта при использовании для производства нановолокнистых материалов, покрытий и структур, используемых в медицине и косметологии.

С целью установления рациональных параметров работы установки для электроформования целесообразно получение математической модели, позволяющей прогнозировать расход волокнообразующего полимера при различных значениях напряжения и расстоянии от эмиттера до коллектора при обеспечении стабильного процесса.

Вначале необходимо было установить такие значения параметров электроформования, при которых процесс протекал стабильно. Эксперимент проводился на трех различных расстояниях между электродами – 8, 10 и 12 *см*. Частота вращения коллектора составляла 250 *мин⁻¹*.

Поиск оптимального сочетания потенциалов эмиттера и коллектора при определенном межэлектродном расстоянии осуществлялся следующим образом. Первоначально устанавливался расход раствора ПВС на уровне 0,1 *мл/ч* при минимальных значениях потенциалов и фиксировалось поведение капли раствора на кончике иглы: образование конуса Тейлора, его стабильность, рост или уменьшение размера капли. В процессе наблюдения определялось, происходило ли формование волокон; выявлялся характер полимерной струи: её прерывистость или стабильность, наличие или отсутствие её расщепления на несколько более мелких

струй. Затем напряжение в межэлектродном пространстве повышалось, и, когда формирование струи прерывалось, что свидетельствовало о недостаточности подачи формовочного раствора, его расход увеличивали.

Таким образом находили такое сочетание параметров процесса, при котором стабильное электроформование протекало бы при максимальном расходе. Также можно отметить, что для сохранения стабильности процесса повышение потенциала эмиттера приходилось сопровождать повышением абсолютного значения потенциала коллектора. Порядок поиска рационального режима электроформования представлен на рисунке 2. Черными точками обозначены значения расхода прядильного раствора при таких параметрах работы установки, при которых процесс электроформования оказался нестабильным, белыми – при которых процесс стабилизировался.

Общее количество исследованных сочетаний параметров электроформования составило 111, из которых 36 вариантов позволяли достигнуть высокой стабильности процесса. Некоторые варианты режимов электроформования и оценка стабильности процесса представлены в таблице 1.

В результате статистической обработки результатов исследований была получена модель, описывающая влияние электрического потенциала эмиттера и расстояния от эмиттера до коллектора на расход формовочного раствора при стабильном протекании процесса электроформования:

$$Q = 1,043527 - 0,136596 \cdot P_э - 0,006654 \cdot L^2 + 0,004382 \cdot P_э^2 + 0,005097 \cdot L \cdot P_э, \quad (1)$$

где $P_э$ – электрический потенциал эмиттера, *кВ*; L – расстояние от эмиттера до коллектора, *см*.

Коэффициент детерминации модели составил $R^2 = 0,992$. Показатель электрического потенциала коллектора был исключен из модели, так как он коррелирует с показателем электрического потенциала эмиттера. Экспериментально установлено, что оптимальные значения электрических потенциалов эмиттера $P_э$ и коллектора $P_к$

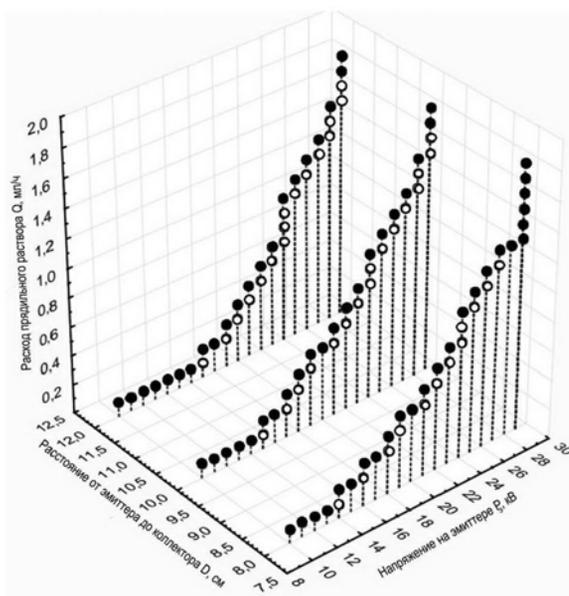


Рисунок 2 – Порядок поиска рационального режима электроформования

связаны следующим соотношением:

$$P_k = 26 - 11,5 \cdot \sqrt[3]{P_3} . \quad (2)$$

Зависимость расхода формовочного раствора от электрического потенциала эмиттера и расстояния от эмиттера до коллектора представлена на рисунке 3.

Для упрощенных расчетов, позволяющих определить значения расхода формовочного раствора, может быть предложена модель, описывающее влияние на него только электрического потенциала эмиттера, поскольку фактор расстояния от эмиттера до коллектора влияет на значения расхода в незначительной степени:

$$Q = 0,85115 - 0,12926 \cdot P_3 + 0,00533 \cdot P_3^2 . \quad (3)$$

Коэффициент детерминации составил $R_2 = 0,984$.

Полученные модели позволяют с достаточной для практических целей точностью прогнозировать расход формовочного раствора поливинилового спирта в чистом виде при проведении процесса электроформования нановолокнистых материалов в зависимости от параметров процесса. Исследования показали, что при электроформовании нановолокнистых материалов, покрытий и конструкций с добавлением целевых компонентов данные зависимости поведения расхода пряديльного раствора от расстояния от эмиттера до коллектора и электрического потенциала эмиттера сохраняются, при этом наблюдается снижение расхода раствора на 20–40 %.

Так, при электроформовании нановолокнистого покрытия с четкой структурой при добавлении не более 8 % глицерина максимальный расход полимерного раствора при стабильном процессе электроформования не снижается и составляет 1,6 *мл/ч* [16]. При добавлении в раствор гемостатических компонентов при получении материалов медицинского назначения – хлорида алюминия $AlCl_3$ и хлорида железа $FeCl_3$ – расход снижается на 18–20 % и составляет около 1,3 *мл/ч* [17]. Электроформова-

Таблица 1 – Параметры эффективного процесса электроформования нановолокнистых материалов различной структуры

Параметры волокнообразующего раствора		
1	Концентрация полимера	до 20 %
2	Концентрация таргет-компонента при создании: – нанопленок – нанопористой сетки – четко структурированного нановолокнистого материала – материала с гемостатическими компонентами – материала с инкапсулированным маслом розового дерева	от 10 % 8–10 % до 8 % до 3 % 5 %
3	Рекомендуемая вязкость*	0,05 до 1 Па·с
4	Поверхностное натяжение	~50 мН/м
5	Электропроводность	0,8–1,0 см/м
Параметры процесса		
1	Электрический потенциал эмиттера	+28–29 кВ
2	Электрический потенциал коллектора	-9 кВ
3	Расстояние от эмиттера до коллектора	10–12 см
4	Расход волокнообразующего полимера	1,0–1,6 мл/ч
5	Частота вращения коллектора**	250 мин ⁻¹
6	Время наработки образца	от 15 мин в зависимости от желаемой толщины материала и ширины зоны нанесения
Параметры окружающей среды		
1	Температура воздуха	19–25 °С
2	Влажность воздуха	38–55 %

Примечание: * – при условии, что полимер не является низкомолекулярным, иначе допустимы более высокие значения; ** – допускаются различные значения частоты вращения коллектора в зависимости от желаемой степени ориентации получаемых нановолокон. Установлено, что при повышении частоты вращения осадительного электрода ориентация нановолокон вдоль образца увеличивается, что оказывает существенное влияние на их структуру и морфологию, а также механические свойства получаемого материала [22].

ние косметологических изделий с добавлением масла розового дерева в прядильный раствор приводит к снижению максимального значения расхода формовочного раствора на 37,5 %, которое составляет 1,0 мл/ч [18]. Таким образом, можно заключить, что предложенные модели рационально использовать при прогнозировании расхода раствора поливинилового спирта в зависимости от основных параметров процесса электроформования.

Полученные нановолокнистые материалы медицинского и косметологического назначения

должны быть нанесены на поверхность подложки равномерно, не иметь дыр, посторонних включений, не повреждаться при извлечении из упаковки. Снятие его с подложки должно происходить равномерно, без слипания и деформации. После разрезания наработанного нановолокнистого материала следует произвести его упаковку, отвечающую следующим основным требованиям:

- герметичность;
- совместимость с процессами стерилизации;
- обеспечение защиты материала от воздей-

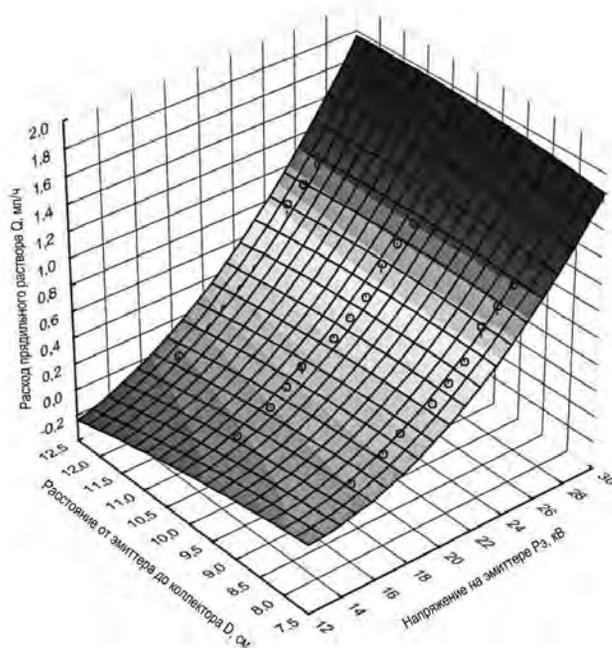


Рисунок 3 – Зависимость расхода формовочного раствора от электрического потенциала эмиттера и расстояния от эмиттера до коллектора

ствия климатических факторов во время транспортирования и хранения и сохранность стерильности в течение срока годности.

В качестве упаковки может быть использованы комбинированные упаковки (прозрачная полимерная пленка + бумага), пакеты из бумаги оберточной или бумаги ламинированной полиэтиленом, пакеты из пленки толщиной не менее 0,05 мм из полиэтилена или полипропилена.

Нановолокнистые медицинские изделия, применяемые для проведения проникающих манипуляций в стерильных в норме тканях организма пациента, контактирующие с кровью и инъекционными препаратами, относят к так называемым "критическим", представляющим высокий риск инфицирования пациента в случае микробной контаминации этих изделий [19]. С учетом имеющихся данных о вспышках инфекций, связанных с неадекватной обработкой изделий, применяемых в хирургической практике, важная роль отводится стерилизации изделий, в частности, хирургическим инструментам [20].

Специфика нановолокнистых материалов медицинского назначения заключается в том, что

большинство из них биodeградируемые и часто водорастворимы. Воздействие сильных химикатов, пара и высоких температур может привести к их частичному или полному разрушению, изменению структуры и свойств как самих нановолокон, так и включенных в них лекарственных веществ. В связи с этим рациональным способом обработки медицинских нановолокнистых изделий является радиационная стерилизация.

Радиационная обработка является безопасным и экономически эффективным методом стерилизации и широко применяется при обработке таких одноразовых медицинских изделий, как шприцы и хирургические перчатки, а также целого ряда аппаратов жизнеобеспечения. В литературе отмечается, что при воздействии на нановолокнистый материал радиации происходит сшивка полимеров, результатом которой может стать изменение механических свойств полимерного изделия: повышение прочности и напряжения на разрыв, уменьшение удлинения на разрыв, сопротивление трещинообразованию, устойчивость к химическим соединениям благодаря сниженной растворимости в органи-

ческих растворителях, снижение газопроницаемости, терморелаксация [21].

В связи с этим высказано предположение о том, что в результате воздействия на нановолокнистый материал могут измениться его свойства: адгезия их к подложке и друг другу, внешний вид и эксплуатационные характеристики, электризуемость и деформация в процессе эксплуатации, растворимость в воде и биологических жидкостях, что окажет влияние на возможность его использования в медицине.

В Объединенном институте энергетических и ядерных исследований – СОСНУ Национальной академии наук Беларуси три образца нановолокнистых материалов были подвергнуты радиационной обработке с использованием закрытых радионуклидных источников гамма-излучения кобальт-60 без непосредственного контакта. Дозы облучения, полученные образцами, составили 16,1, 26,7 и 53,5 *кГр*.

Измерение полученной дозы осуществлялось с помощью Harwell red dosimeters 4034, индикатор дозы гамма-индикатор Etigam 2.01. Обработанные образцы отличались большей глад-

костью, меньше электризовались. Однако при этом адгезия их к подложке также выросла, хотя снятие их не вызывало существенных затруднений и происходило равномерно. При проведении предыдущих исследований установлено, что при снятии необработанных материалов с подложки они существенно деформировались, что создавало неудобство при их применении в хирургии. Данный отрицательный эффект усиливался в случае высокой влажности воздуха в помещении. В ходе описываемых исследований установлено, что материалы, подвергнутые обработке независимо от дозы облучения, при снятии с подложки сохраняли форму и хороший внешний вид.

Для оценки влияния радиации на профиль растворения нановолокнистого материала на центр каждого из образцов наносилась капля дистиллированной воды. Внешний вид образцов до (а) и после (б) нанесения капли представлен на рисунках 4–7.

Эксперимент показал, что доза радиации не оказывает существенного влияния на профиль растворения нановолокнистого материала:



а



б

Рисунок 4 – Образцы нановолокнистого материала без обработки после тестирования на характер профиля растворения



а



б

Рисунок 5 – Образцы нановолокнистого материала, подвергнутого воздействию радиации 16,1 кГр после тестирования на характер профиля растворения



а



б

Рисунок 6 – Образцы нановолокнистого материала, подвергнутого воздействию радиации 26,7 кГр после тестирования на характер профиля растворения



а



б

Рисунок 7 – Образцы нановолокнистого материала, подвергнутого воздействию радиации 53,5 кГр после тестирования на характер профиля растворения

растворение в местах контакта с водой происходило с одинаковой скоростью, капля растекалась относительно равномерно. По сравнению с необработанным материалом площадь растекания капли при 16,1 кГр уменьшилась на 7 %, при 26,7 кГр на 25 %, при 53,5 кГр на 27 %, что свидетельствует о наличии сшивки полимера в образцах.

При этом контрольный образец, не подвергнутый воздействию радиации, подвергался сравнительно большей деформации в процессе испытания, что является существенным недостатком, поскольку при нанесении подобного материала на влажную поверхность тканей организма пациента распределение его по поверхности будет менее равномерным, и, следовательно, распространение включенного в него целевого компонента будет также менее равномерным. Увеличение дозы радиации не оказывает существенного влияния на свойства нановолокнистого материала, сшивка полимерных нановолокон незначительно увеличивает адгезию их к подложке и друг другу, что приводит к повышенной гладкости получаемого материала и снижению его электроизумости и деформации

в процессе эксплуатации. Можно заключить, что для стерилизации медицинских нановолокнистых материалов может быть рекомендована стандартная радиационная обработка с дозой облучения 16,1 кГр.

Таким образом, для получения ассортимента наноструктурных медицинских электроформованных материалов были рекомендованы следующие параметры эффективного процесса электроформования (таблица 1).

ВЫВОДЫ

В результате исследований была разработана технология получения ассортимента наноструктурных медицинских электроформованных материалов. Предложены следующие математические модели: модель, позволяющая прогнозировать расход волокнообразующего полимера при различных значениях напряжения и расстоянии от эмиттера до коллектора при обеспечении стабильного процесса; модель, описывающая взаимосвязь оптимальных значений электрических потенциалов эмиттера и коллектора. Предложены рациональные параметры эффективного процесса электроформования нановолокнистых материалов различной

структуры, в том числе нанопленок, нанопористой сетки, четко структурированного нановолокнистого материала, материала с различными таргет-компонентами. Установлено, что образцы нановолокнистых материалов, подвергнутые радиационной стерилизации, при снятии с подложки сохраняют форму, что повышает удобство их использования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ghosh, S., Roy, P., Lahiri, D. (2022), Recent Trends in Electrospinning for the Preparation of Ultrathin Plastic and Polymer Fibers for Bio-Medical Applications, *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers*, 2022, № 4, pp. 810–835.
2. Okutan, N., Terzi, P., Altay, F. (2014), Altay Affecting parameters on electrospinning process and haracterization of electrospun gelatin nanofibers, *Food Hydrocoll*, 2014, № 39, pp. 19–26.
3. Xue, J., Wu, T., Dai, Y., Xia, Y. (2019), Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications, *Chem. Rev.*, 2019, № 119 (8), pp. 5298–5415.
4. Kerr-Phillips, T., Travas-Sejdic, J. (2019), Conducting Polymers: Electrospun Materials, *Encyclopedia of Polymer Applications*, 2019, pp. 602–623.
5. Chan, E.W.C., Bennet, D., Baek, P., Barker, D., Kim, S., Travas-Sejdic, J. (2018), Electrospun Polythiophene Phenylenes for Tissue Engineering, *Biomacromolecules*, 2018, № 19, pp. 1456–1468.
6. Beikzadeh, S., Akbarinejad, A., Swift, S., Perera, J., Kilmartin, P.A., Travas-Sejdic, J. (2020), Cellulose acetate electrospun nanofibers encapsulating Lemon Myrtle essential oil as active agent with potent and sustainable antimicrobial activity, *React Funct Polym*, 2020, № 157, Art. 104769.

REFERENCES

1. Ghosh, S., Roy, P., Lahiri, D. (2022), Recent Trends in Electrospinning for the Preparation of Ultrathin Plastic and Polymer Fibers for Bio-Medical Applications, *Encyclopedia of Materials: Plastics and Polymers*, 2022, № 4, pp. 810–835.
2. Okutan, N., Terzi, P., Altay, F. (2014), Altay Affecting parameters on electrospinning process and haracterization of electrospun gelatin nanofibers, *Food Hydrocoll*, 2014, № 39, pp. 19–26.
3. Xue, J., Wu, T., Dai, Y., Xia, Y. (2019), Electrospinning and electrospun nanofibers: Methods, materials, and applications, *Chem. Rev.*, 2019, № 119 (8), pp. 5298–5415.
4. Kerr-Phillips, T., Travas-Sejdic, J. (2019), Conducting Polymers: Electrospun Materials, *Encyclopedia of Polymer Applications*, 2019, pp. 602–623.
5. Chan, E.W.C., Bennet, D., Baek, P., Barker, D., Kim, S., Travas-Sejdic, J. (2018), Electrospun Polythiophene Phenylenes for Tissue Engineering, *Biomacromolecules*, 2018, № 19, pp. 1456–1468.
6. Beikzadeh, S., Akbarinejad, A., Swift, S., Perera, J., Kilmartin, P.A., Travas-Sejdic, J. (2020), Cellulose acetate electrospun nanofibers encapsulating Lemon Myrtle essential oil as active agent with potent and sustainable antimicrobial activity, *React Funct Polym*, 2020, № 157, Art. 104769.

- Art. 104769.
7. Karakas, H. (2015), Electrospinning of nanofibers and their applications, *Materials Science*, 2015, pp. 1–35.
 8. Bhardwaj, N., Kundu, C. (2010), Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology Advances*, 2010, № 28, pp. 325–347.
 9. Li, Z., Wang, C. (2013), *One-dimensional Nanostructures, Electrospinning technique and Unique Nanofibers*, Springer, 141 p.
 10. Reneker, D. H., Chun, I. (1996), Nanometer diameter fibers of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology*, 1996, № 7, pp. 216–223.
 11. Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y., Sheng, J. (2005), Study on morphology of electrospun poly(vinyl alcohol) mats, *European Polymer Journal*, 2005, № 41, pp. 423–432.
 12. Demir, M. M. (2002), Electrospinning of polyurethane fibers, *Polymer*, 2002, V. 43, pp. 3303–3309.
 13. Beachley, V., Wen, X. (2009), Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length, *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 2009, № 29, pp. 663–668.
 14. Матвеев, А. Т., Афанасов, И. М. (2010), *Получение нановолокон методом электроформования*, Москва, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 83 с.
 15. Ясинская, Н. Н., Рыклин, Д. Б., Скобова, Н. В., Демидова, М. А., Азарченко, В. М. (2020), Зависимость структуры функционального нановолокнистого покрытия от свойств волокнообразующего полимера, *Вестник Херсонского национального технического университета*, 2020, № 1 (76), с. 141–147.
 7. Karakas, H. (2015), Electrospinning of nanofibers and their applications, *Materials Science*, 2015, pp. 1–35.
 8. Bhardwaj, N., Kundu, C. (2010), Electrospinning: A fascinating fiber fabrication technique, *Biotechnology Advances*, 2010, № 28, pp. 325–347.
 9. Li, Z., Wang, C. (2013), *One-dimensional Nanostructures, Electrospinning technique and Unique Nanofibers*, Springer, 141 p.
 10. Reneker, D. H., Chun, I. (1996), Nanometer diameter fibers of polymer, produced by electrospinning, *Nanotechnology*, 1996, № 7, pp. 216–223.
 11. Zhang, C., Yuan, X., Wu, L., Han, Y., Sheng, J. (2005), Study on morphology of electrospun poly(vinyl alcohol) mats, *European Polymer Journal*, 2005, № 41, pp. 423–432.
 12. Demir, M. M. (2002), Electrospinning of polyurethane fibers, *Polymer*, 2002, V. 43, pp. 3303–3309.
 13. Beachley, V., Wen, X. (2009), Effect of electrospinning parameters on the nanofiber diameter and length, *Materials Science and Engineering C: Materials for Biological Applications*, 2009, № 29, pp. 663–668.
 14. Matveev, A. T., Afanasov, I. M. (2010), *Polucheniye nanovolokon metodom elektroformovaniya* [Production of nanofibers by electrospinning], Moscow, Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 83 p.
 15. Yasinskaya, N. N., Ryklin, D. B., Skobova, N. V., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M. (2020), Dependence of the structure of a functional nanofiber coating on the properties of a fiber-forming polymer [Zavisimost' struktury funktsional'nogo nanovoloknistogo pokrytiya ot svoystv voloknoobrazuyushchego polimera], *Vestnik Khersonskogo natsional'nogo tekhnika*

16. Ryklin, D. B., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2021), Influence of glycerin adding on the electrospun nanofibers diameter, *ICTAI-2021*, Vitebsk, 2021, pp. 030002-1–030002-8.
17. Демидова, М. А., Новицкая, В. А., Рыклин, Д. Б., Гвоздев, С. В. (2021), Получение гемостатических пленок методом электроформования, *Материалы XXI Международного научно-практического форума «SMARTEX-2021» «Физика волоконистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы»*, Иваново, 2021, № 1, с. 181–186.
18. Рыклин, Д. Б., Ясинская, Н. Н., Демидова, М. А., Азарченко, В. М. (2021), Получение многослойных нановолокнистых материалов методом электроформования, *Международный научно-технический симпозиум «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» в рамках 3-го Международного Косыгинского форума*, 2021, Москва, Т. 2, с. 168–172.
19. Венцеля, Р., Бревер, Т., Бутцлер, Ж.-П. (2003), *Руководство по инфекционному контролю в стационаре*, Смоленск, МАКМАХ, 272 с.
20. *Основы инфекционного контроля: Практическое руководство* (2003), Москва, Альпина Паблишер, 478 с.
21. *Радиационная сшивка полимеров* (2022), режим доступа: <https://tecleor.tech/sfery-primeniya/prochie-sfery-primeniya/radiatsionnaya-sshivka-polimerov/> (дата доступа: 24 октября 2022 года).
22. Демидова, М. А., Рыклин, Д. Б. (2021), Анализ влияния скоростного режима электроформования на структуру и свойства нановолокнистых материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 2 (41), с. 28–32.
- cheskogo universiteta – Vestnik of Kherson National Technical University*, 2020, № 1 (76), pp. 141–147.
16. Ryklin, D. B., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2021), Influence of glycerin adding on the electrospun nanofibers diameter, *ICTAI-2021*, Vitebsk, 2021, pp. 030002-1–030002-8.
17. Demidova, M. A., Novitskaya, V. A., Ryklin, D. B., Gvozdev, S. V. (2021), Obtaining hemostatic films by electrospinning [Polucheniye gemostaticheskikh plenok metodom elektroformovaniya], *Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Forum "SMARTEX-2021" "Physics of fibrous materials: structure, properties, high technologies and materials"*, Ivanovo, 2021, № 1, pp. 181–186.
18. Ryklin, D. B., Yasinskaya, N. N., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M. (2021), Obtaining multilayer nanofiber materials by electrospinning [Polucheniye mnogoslounnykh nanovoloknistykh materialov metodom elektroformovaniya], *International scientific and technical symposium "Improving the energy and resource efficiency and environmental safety of processes and apparatuses of the chemical and related industries" within the framework of the 3rd International Kosygin Forum*, Moscow, 2021, pp. 168–172.
19. Wenzel, Ed. R., Brever, T., Butzler, J. P. (2003), *Rukovodstvo po infektsionnomu kontrolyu v statsionare* [Guidelines for infection control in the hospital], Smolensk, МАКМАХ, 272 p.
20. *Osnovy infektsionnogo kontrolya: Prakticheskoye rukovodstvo* [Fundamentals of Infection Control: A Practical Guide] (2003), Moscow, Alpina Publisher, 478 p.
21. *Radiatsionnaya sshivka polimerov* [Radiation crosslinking of polymers], (2022), available at: <https://tecleor.tech/sfery-primeniya/prochie-sfery-primeniya/radiatsionnaya-sshivka-polimerov/> (accessed 24.10.2022).

22. Demidova, M. A., Ryklin, D. B. (2021), Analysis of the influence of high-speed electrospinning on the structure and properties of nanofiber materials [Analiz vliyaniya skorostnogo rezhima elektroformovaniya na strukturu i svoystva nanovoloknistykh materialov] *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 2 (41), pp. 28–32.

Статья поступила в редакцию 25. 10. 2022 г.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ПЛАВУЧЕСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВОДОТЕРМОСТОЙКОЙ ОДЕЖДЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

PROVISION OF POSITIVE BUOYANCY WHEN DESIGNING WATER-HEAT-RESISTANT CLOTHING FOR SPECIAL PURPOSE

УДК 677.072.6–037.4

В.П. Довыденкова*, В.И. Ольшанский

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-33-46>

V. Davydenkava*, V. Alshanski

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

КОМБИНИРОВАННЫЙ КОСТЮМ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ, АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ, ПЛАВАНИЕ, ОСТОЙЧИВОСТЬ, ПОДЪЕМНАЯ СИЛА, ДЕТАЛИ ОДЕЖДЫ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ОБРАЗЕЦ

С наступлением осенне-весеннего периода для аварийно-спасательных подразделений МЧС РБ особую актуальность приобретают задачи спасения людей на открытых водоемах.

Имеющиеся в наличии костюмы индивидуальной защиты позволяют работникам подразделений МЧС выполнять отдельные виды аварийно-спасательных работ в холодной и горячей воде на глубине до 130 см, опираясь ногами на землю. Спасание обессилевших или потерявших сознание людей на глубине более 130 см в таких костюмах невозможно.

Одним из способов решения данной проблемы является модернизация существующего костюма индивидуальной защиты путем введения во внутренний теплоизолирующий комбинезон элемента положительной плавучести.

В статье приведены результаты теоретико-экспериментальных исследований положительной плавучести и устойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты, базирующиеся на теории плавания тел. Установлено, что для сохранения собственной плавучести костюма его конструктивное решение должно предусматривать наличие элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена общей площадью не менее 6 359,3 см² при толщине одного слоя 8 мм.

ABSTRACT

COMBINED PERSONAL PROTECTION SUIT, RESCUE OPERATIONS, SWIMMING, STABILITY, LIFTING FORCE, CLOTHING DETAILS, EXPERIMENTAL SAMPLE

With the onset of the autumn-spring period, tasks of rescuing people in open water are of particular urgency for the rescue units of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus.

The available personal protective suits allow rescuers of the Ministry of Emergency Situations to perform certain types of rescue operations in cold and hot water at a depth of up to 130 cm, resting their feet on the ground. Rescue of exhausted or unconscious people at a depth of more than 130 cm in such suits is not possible.

One way to solve this problem is to modernize the existing personal protective suit by introducing a positive buoyancy element into the inner heat-insulating overalls.

The article presents the results of theoretical and experimental studies of positive buoyancy and stability of a combined personal protection suit, based on the theory of body swimming. It has been determined that in order to maintain the suit's own buoyancy, its design should provide for the presence of positive buoyancy elements made of polyethylene foam with a total area of at least 6,359.3 cm² with a single layer thickness of 8 mm.

The preservation of the transverse and longitudinal stability of the combined personal protective suit of the rescuer will be ensured if, when designing it, the placement of elements of positive buoyancy in

* E-mail: davydzenkava@mail.ru (V. Davydenkava)

Сохранение поперечной и продольной устойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты спасателя будет обеспечено, если при его проектировании предусмотрено размещение элементов положительной плавучести в области грудной клетки, плечевого пояса со стороны спины, затылка и предплечий.

Эксплуатационные испытания экспериментального образца, изготовленного с учетом указанных рекомендаций, проведены на базе центра водолазно-спасательной службы ГПАСУ «РОСН». Установлено, что предоставленный модернизированный экспериментальный образец костюма обладает необходимой быстротой надевания, эргономичностью, легкостью, достаточно устойчив к разрывам, обеспечивает положительную плавучесть и безопасность личного состава при проведении работ, связанных со спасением людей на воде (льду), нахождении на открытом воздухе при низкой температуре (письмо от 16.11.2020 № 52/03-06/848).

the chest, shoulder girdle from the back, neck and forearms is provided.

Taking into account the above recommendations operational tests of an experimental model were performed on the basis of the center of the diving and rescue service of the Republican Special Forces. It is found out that the upgraded experimental sample of the suit provided has the necessary speed of putting on, ergonomics, lightness, is sufficiently resistant to tears, provides positive buoyancy and safety of the rescuer during work related to rescuing people on water (ice), being outdoors at low temperature (letter dated November 16, 2020 № 52/03-06/848).

Актуальной проблемой современного общества является защита населения, объектов инфраструктуры и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера. С наступлением низких температур в осенне-весенний период увеличивается не только количество пожаров, но и возрастает риск гибели людей на водоемах, вероятность аварий на теплотрассах.

При ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций аварийно-спасательными подразделениями МЧС Беларуси используются отечественные образцы боевой одежды, теплоотражающих и теплозащитных костюмов, костюмов индивидуальной защиты (КИЗ) для работы в воде и химически агрессивных средах. Однако необходимость выполнения широкого круга задач, связанных в том числе со спасением людей в холодной (на льду) и горячей воде обосновывает целесообразность постоянного совершенствования процесса проектирования специальной защитной одежды.

В настоящее время спасение людей на воде (льду) осуществляется водолазно-спасательными службами МЧС Беларуси с использованием

дорогостоящих гидротермокостюмов зарубежного производства. Пожарные аварийно-спасательные части не оснащены костюмами, обеспечивающими безопасность личного состава при необходимости проведения такого рода аварийно-спасательных работ. Существующие КИЗ позволяют работникам подразделений МЧС выполнять отдельные виды аварийно-спасательных работ в холодной и горячей воде на глубине до 130 см, опираясь ногами на землю. Их применение для спасения людей на воде (льду) невозможно.

Вариантом решения данной проблемы, который будет способствовать значительной экономии материальных ресурсов на приобретение узкоспециализированных средств индивидуальной защиты, упрощению процесса комплектования аварийно-спасательной техники и при этом расширению комплекса решаемых тактических задач, является придание существующему варианту КИЗ положительной плавучести и устойчивости.

Поиск возможных конструкторско-технологических решений и разработка усовершенствованного варианта водотермостойкого комбини-

рованного костюма индивидуальной защиты с элементами положительной плавучести проводились по заказу НИИ пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций МЧС РБ в рамках ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» (задание 3.1.35 «Разработка комбинированного костюма индивидуальной защиты с элементами положительной плавучести»).

Имеющийся в наличии КИЗ является сложным изделием, состоящим из двух комбинезонов: герметичного наружного, блокирующего возможность проникновения воды в подкостюмное пространство, и внутреннего теплоизолирующего, обеспечивающего поддержание температуры подкостюмного пространства в диапазоне 10–50 °С не менее 5 минут [1, 2].

Модернизированный комбинированный костюм индивидуальной защиты спасателя (далее ККИЗ) должен обладать запасом положительной плавучести, позволяющим не только плавать при заданных нагрузках, но и сохранять остойчивость – устойчивое положение лицевой части и органов дыхания человека на поверхности.

Одним из возможных способов обеспечения плавучести модернизированного ККИЗ является введение во внутренний теплоизолирующий комбинезон элемента положительной плавучести (жилета), содержащего в качестве наполнителя вспененный полиэтилен. Данный материал, относящийся к классу газонаполненных термопластичных полимеров, доступен для приобретения на рынке Республики Беларусь, имеет закрыто-пористую структуру, обладает хорошей технологичностью: не вызывает сложностей при раскрое и пошиве изделия. Широкому применению в качестве наполнителя для спасательных гидрокомбинезонов способствуют следующие технические характеристики вспененного полиэтилена: плотность от 20 до 80 кг/м³, паронепроницаемость, температурный режим эксплуатации от –60 °С до +100 °С, крайне низкая способность влагопоглощения (не больше 3,5 % от общего объема утеплителя при контакте с водой в течение месяца), устойчивость к агрессивным веществам, образованию грибка и плесени, отсутствие токсичных веществ и низкий показатель теплопроводности: от 0,038 до 0,039 Вт/(м · К).

Целью данной работы является определение необходимого и достаточного количества вспененного полиэтилена и топографии его размещения в объеме жилета внутреннего теплоизолирующего комбинезона без снижения эргономических показателей модернизированного ККИЗ.

Проведенный анализ требований, установленных существующими техническими нормативными правовыми актами в отношении индивидуальных спасательных средств, позволил установить некоторые нормативные значения показателей плавучести и остойчивости [3]:

- обеспечение положения органов дыхания обессилевшего или потерявшего сознание человека на расстоянии не менее 120 мм от воды так, чтобы тело человека было отклонено назад от его вертикального положения под углом не менее 20°;

- поворот за время не более 5 с тела потерявшего сознание человека в воде из любого положения в такое, при котором его органы дыхания находятся над водой.

Анализ многочисленных литературных источников позволил установить, что защитные костюмы должны иметь собственную плавучесть не менее 70 Н, но использоваться без спасательных жилетов они могут лишь в том случае, если отвечают всем требованиям, предъявляемым к спасательному жилету. Для обеспечения возможности спасения обессилевших или потерявших сознание потерпевших при чрезвычайных ситуациях человека и спасателя нормативное значение собственной плавучести защитного костюма установлено на уровне не менее 100 Н [3, 4].

Для обеспечения указанных требований плавучести существуют различные технические решения, реализованные в том числе в современных гидрокостюмах [5–10].

Следует отметить, что при большой вариативности инженерных решений, патентов в области создания индивидуальных спасательных средств и известных методик проведения спасательных работ не достаточно теоретико-аналитических исследований, отражающих эффективность применения существующих гидрокостюмов в реальных условиях эксплуатации при воздействии гидростатического давления в зависимости от их

конструктивного решения.

Расчеты положительной плавучести достаточно подробно и широко освещены в области судостроения. Научных трудов, в которых бы рассматривались вопросы определения положительной плавучести и остойчивости человека в многослойной одежде, содержащей различного рода утеплители, не установлено.

В силу того, что учесть весь комплекс факторов, действующих на спасателя во время ликвидации чрезвычайных ситуаций в воде, не представляется возможным, при проведении дальнейших теоретических исследований будем рассматривать идеальные условия, при которых не учитывается остаточный объем воздуха, содержащийся в слоях утеплителя теплоизолирующей подкладки после одевания ККИЗ. Остаточный объем воздуха обеспечит дополнительный запас положительной плавучести и компенсирует вес самого костюма.

Анализ основ теории плавания тел [11] показал, что согласно закону Архимеда, спасатель, экипированный в водотермостойкий комбинезон, при погружении в воду будет находиться под действием подъемной силы гидростатического давления, в общем случае направленной

снизу-вверх и равной весу объема вытесненной жидкости.

Гидростатическая подъемная сила, P_z , для тела произвольной формы согласно схеме (рисунок 1) может быть представлена в виде:

$$P_z = Y = \rho g \int_0^S (h_2 - h_1) dS = \rho g V, \quad (1)$$

где Y – гидростатическая подъемная сила (поддерживающая сила или Архимедова сила), H ; ρ – плотность воды, $\text{кг}/\text{м}^3$; g – ускорение свободного падения, $H/\text{кг}$; S – площадь тела, м^2 ; dS – площадь поперечного сечения элементарного цилиндра, выделенного внутри тела, м^2 ; h_1 , h_2 – глубина погружения верхнего и нижнего оснований цилиндра, м ; p_1 , p_2 – давления, действующие на верхнее и нижнее основания элементарного цилиндра, H ; V – объем тела, м^3 .

Точка приложения гидростатической подъемной силы – центр давления (точка D). Плавание спасателя в воде определяется величиной двух сил: силы тяжести, G , и гидростатической подъемной силы. Сила тяжести тела приложена в его центре (точка C) и определяется по формуле:

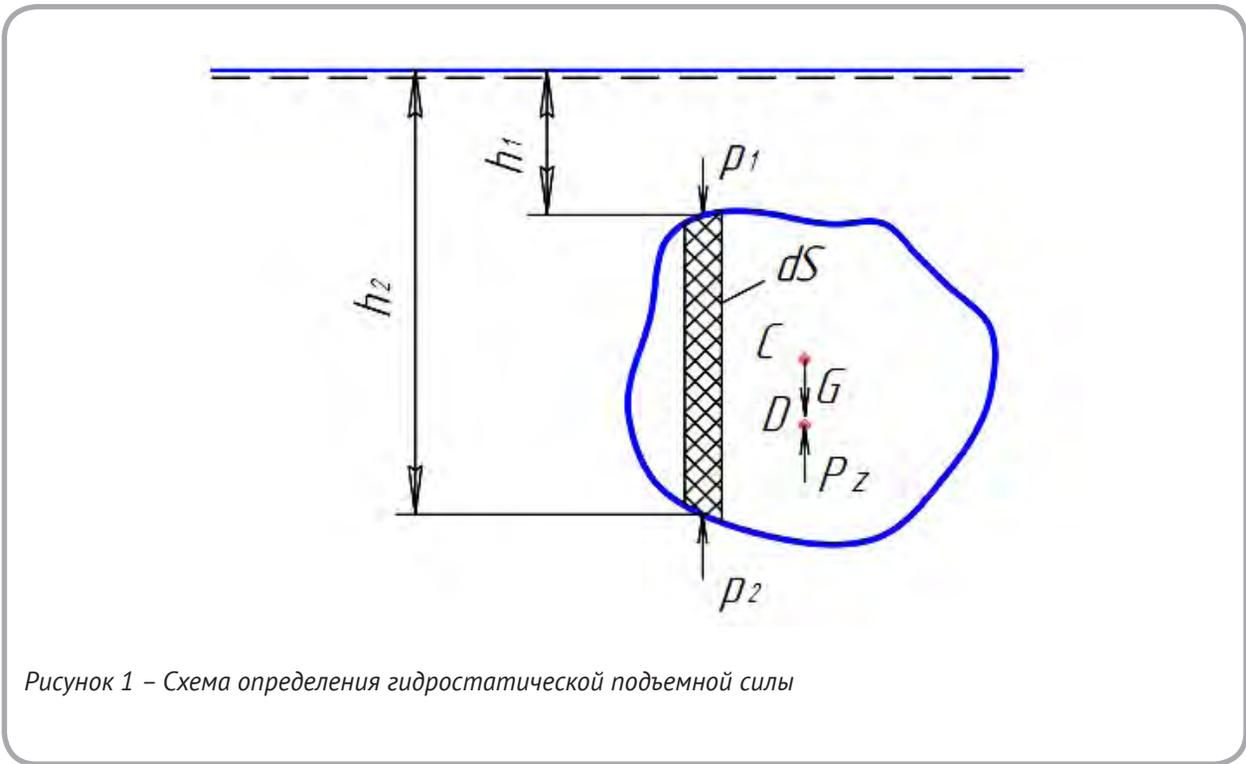


Рисунок 1 – Схема определения гидростатической подъемной силы

$$G = \rho_m g V, \quad (2)$$

где ρ_m – плотность тела, $\text{кг}/\text{м}^3$.

В зависимости от соотношения величины гидростатической подъемной силы и силы тяжести тело может находиться в трех положениях:

- если гидростатическая подъемная сила больше силы тяжести ($Y > G$), то тело обладает положительной плавучестью и плавает, лишь частично погрузившись в жидкость;

- при равенстве сил ($Y = G$) плавучесть тела нулевая (нейтральная), оно полностью погружено в жидкость и находится в ней во взвешенном состоянии;

- если гидростатическая подъемная сила меньше силы тяжести ($Y < G$), то плавучесть отрицательна и тело тонет.

Центр давления располагается в центре тяжести объема водоизмещения. Условно считается, что подъемная сила P_z приложена в центре давления, то есть в точке D . В общем случае центр тяжести и центр давления не совпадают. Осью плавания является линия, проходящая через центр тяжести тела C и центр давления D и соответствующая нормальному положению тела.

Положительная плавучесть модернизированного ККИЗ будет обеспечена преимущественно за счет наполнителя из вспененного полиэтилена, размещенного в жилете внутреннего теплоизолирующего комбинезона.

Для расчета необходимого объема наполнителя рассмотрим силы, действующие на погруженный в воду фрагмент, состоящий из четырех пластин вспененного полиэтилена, имеющих высоту $h = 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, ширину $a = 0,1 \text{ м}$, длину $b = 0,1 \text{ м}$ (рисунок 2). Указанное количество пластин объясняется необходимостью соблюдения требований эргономики, в частности, динамического соответствия. На фрагменте размещен груз весом G_r .

Масса фрагмента определена путем его взвешивания на электронных весах и составляет $11 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$.

Воспользовавшись условием сохранения положительной плавучести и зависимостями (1), (2), запишем условие плавания фрагмента на поверхности воды в виде неравенства:

$$G_r + G_0 < P_0 + \rho_{\text{ж}} \Delta V g, \quad (3)$$

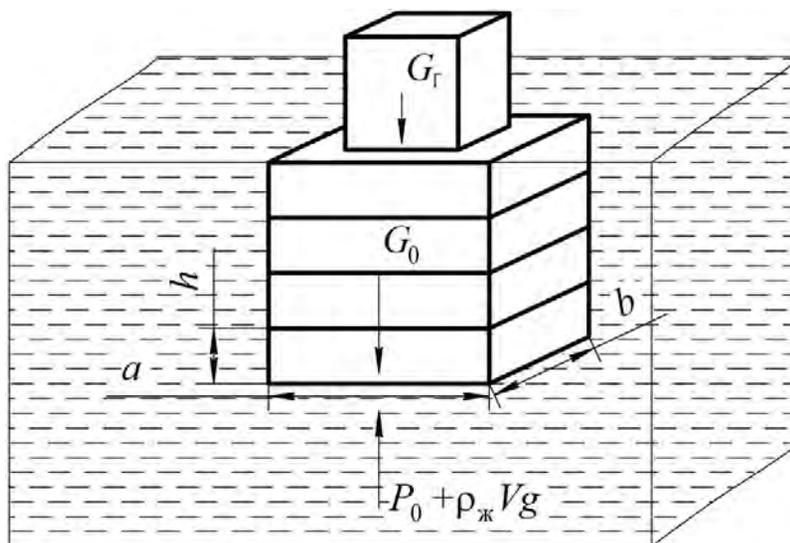


Рисунок 2 – Силы, действующие на плавающий фрагмент вспененного полиэтилена с грузом

где P_0 – гидростатическая подъемная сила (сила Архимеда), действующая на фрагмент вспененного полиэтилена без груза, H ; $\rho_{ж}$ – плотность воды, равная 1000 кг/м^3 ; ΔV – изменение объема подводной части элемента вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м^3 ; G_0 – сила тяжести, обусловленная собственным весом фрагмента вспененного полиэтилена, H , и определяемая по формуле:

$$G_0 = m_0 g, \quad (4)$$

где m_0 – масса фрагмента вспененного полиэтилена, кг .

С учетом выражения (4) и известных соотношений между объемом и площадью преобразованием неравенство (3):

$$m_r g + m_0 g < \rho_{ж} V_0 g + \rho_{ж} S (h_0 - h_1) g, \quad (5)$$

где m_r – масса груза, кг ; V_0 – объем фрагмента вспененного полиэтилена, м^3 ; S – площадь фрагмента подводной части вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м^2 ; $h_0 - h_1$ – изменение высоты подводной части рассматриваемого фрагмента вспененного полиэтилена при размещении на нем груза, м . В случае полного погружения фрагмента вспененного полиэтилена до уровня поверхности воды $h_0 - h_1 = 4h$.

Тогда неравенство (5) можно записать в виде выражения (6):

$$m_r + m_0 < 2\rho_{ж} S 4h. \quad (6)$$

Подставив в выражение (6) исходные данные для расчета, определим массу груза, которую может выдержать фрагмент вспененного полиэтилена установленного размера при полном погружении в воду и сохранении положительной плавучести:

$$m_r + 0,011 < 2 \cdot 1000 \cdot 0,01 \cdot 4 \cdot 0,008,$$

$$m_r < 0,629 \text{ кг}.$$

Таким образом, максимальная масса груза, которую может удержать на поверхности воды фрагмент вспененного полиэтилена размером $0,032 \times 0,1 \times 0,1 \text{ м}$, составляет 629 г .

Оценка результатов теоретических исследований выполнена путем проведения эксперимента с использованием пластин вспененного полиэтилена указанного размера, скрепленных между собой двухсторонней липкой лентой.

Для исключения попадания воды в поры фрагмент из четырех пластин вспененного полиэтилена плотно оборачивался пищевой полиэтиленовой пленкой без деформации его формы и размеров, что полностью соответствовало реальным условиям эксплуатации и предполагаемому расположению элементов положительной плавучести в жилете теплоизолирующего комбинезона. Результаты экспериментальных исследований позволили установить фактическую массу груза, равную $676 \pm 1 \text{ г}$, которую может удержать на поверхности воды фрагмент размером $0,032 \times 0,1 \times 0,1 \text{ м}$, состоящий из четырех пластин вспененного полиэтилена.

Относительная погрешность результатов теоретических и экспериментальных исследований составила не более 7% , что говорит о хорошей сходимости и подтверждает правильность проведенных расчетов.

Как показано ранее, при спасении обессилевших или потерявших сознание потерпевших при чрезвычайных ситуациях человека и спасателя нормативное значение собственной плавучести защитного костюма установлено на уровне не менее 100 Н .

Результаты теоретических исследований позволили установить, что положительная плавучесть при указанном нормативном значении будет обеспечена в случае, если в жилете теплоизолирующего комбинезона ККИЗ предусмотрено наличие элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена общей площадью $6359,3 \text{ см}^2$ при толщине одного слоя 8 мм .

Научно обоснованное определение топографии размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона ККИЗ возможно в результате применения к решаемой задаче теории остойчивости, основанной

на способности плавающих тел, выведенных из состояния равновесия, возвращаться в исходное положение после прекращения действия силы, вызвавшей крен [12].

Условия остойчивости в общем случае сводятся к следующим основным положениям:

- если пара сил (вес тела G и гидростатическая подъемная сила P_z) при крене тела стремится уменьшить крен и вернуть тело в исходное положение, то такое положение будет остойчивым;

- если пара сил (вес тела G и гидростатическая подъемная сила P_z) при крене тела стремится крен увеличить, то положение тела будет нестойчивым.

Исследователи различают три случая остойчивости тел, погруженных в жидкость [11, 12]:

- центр тяжести тела C находится ниже центра давления D (рисунок 3 а). В этом случае образуется пара сил, стремящаяся после крена вернуть тело в первоначальное положение, следовательно, имеет место остойчивое равновесие;

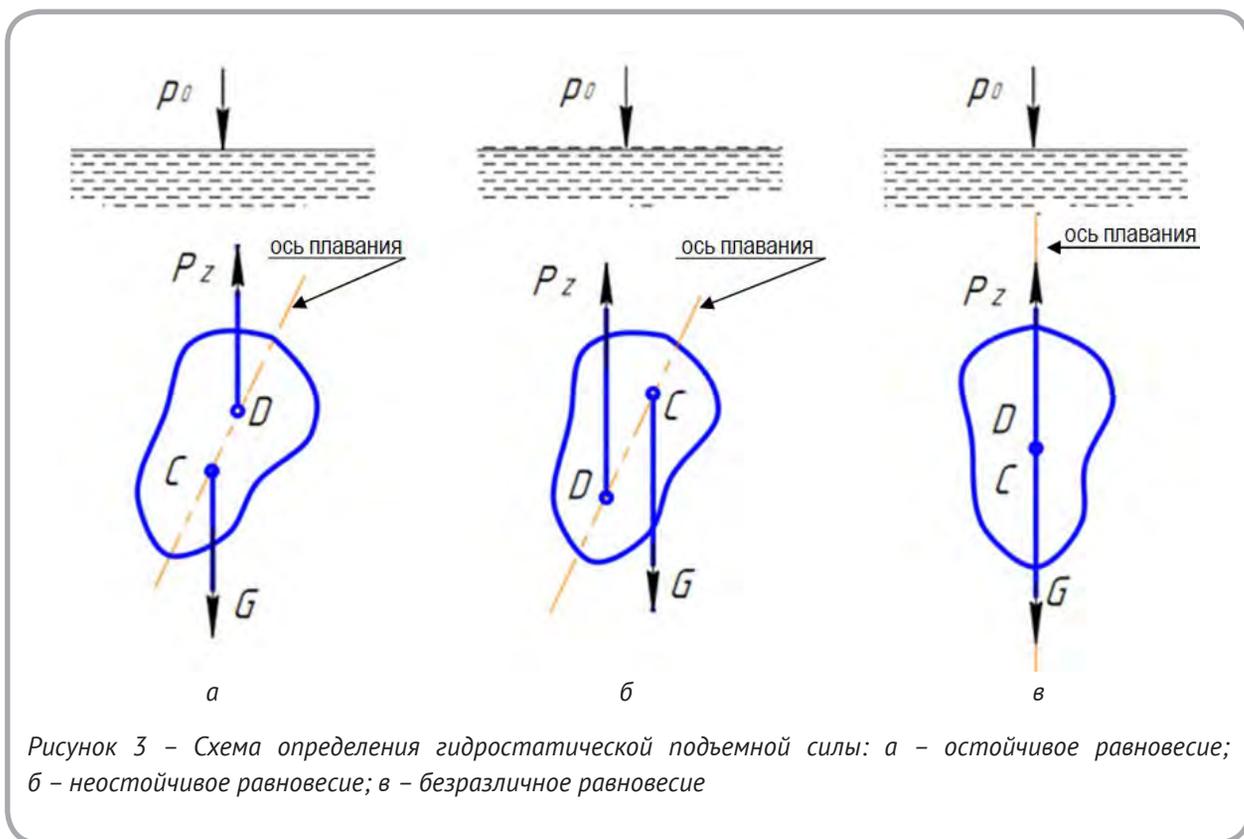
- центр тяжести тела C находится выше цен-

тра давления D (рисунок 3 б). В этом случае образуется пара сил, которая стремится увеличить крен тела, следовательно, имеет место нестойчивое равновесие;

- центр тяжести C и центр давления D совпадают (рисунок 3 в), следовательно, пара сил отсутствует, и имеет место случай безразличного равновесия, при котором тело будет сохранять заданное ему положение.

В проектируемом ККИЗ необходимо обеспечить продольную и поперечную остойчивость. Продольная остойчивость спасателя и спасаемого на воде особенно актуальна при оказании помощи взрослым со значительной массой тела. Для ее сохранения при размещении элементов положительной плавучести в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона ККИЗ учитывается взаимное расположение центров тяжести и плавучести тела в соответствии с методикой действий спасателя в различных чрезвычайных ситуациях [13].

Гарантированная поперечная остойчивость модернизированного ККИЗ, как отмечено ранее, в соответствии с требованиями к индивидуаль-



ным спасательным средствам определяется нормативным значением времени поворота тела потерявшего сознание человека в воде (не более 5 с) из любого положения в такое, при котором его рот находится над водой.

Для анализа условий обеспечения поперечной остойчивости модернизированного ККИЗ в соответствии с положениями общей теории остойчивости рассмотрена схема образования восстанавливающего момента сил, представленная на рисунке 4. Как показано в статье [13], в центре тяжести спасателя (точка *C*), одетого в ККИЗ, приложена сила веса, *G*, направленная во всех случаях вертикально и перпендикулярно к поверхности воды (ватерлиния *O-O*). Параллельно ей действует сила плавучести *P_{z2}*, приложенная в общем случае в центре погруженной части костюма (центре давления (точка *D*)).

Поведение и природа этих сил не зависят друг от друга. Поэтому при отклонении спасателя от равновесного положения они уже не действуют вдоль одной линии, а образуют пару параллельных сил, которые в свою очередь перпендикулярны новому (накрененному) положению ватерлинии *O'-O'*. Возникающая пара сил создаёт восстанавливающий момент, который противодействует кренящему моменту, стремя-

щему повернуть спасателя.

Величина восстанавливающего момента, *M_в*, может быть вычислена по формуле:

$$M_{в}(\theta) = P_{z_2} \cdot l(\theta) , \quad (7)$$

где *l(θ)* – плечо статической остойчивости, *м*.

Формула (7) указывает на то, что момент *M_в* зависит от угла поворота тела спасателя, то есть является переменной величиной. Топография размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета теплоизолирующего комбинезона, обеспечивающих положительную поперечную остойчивость, должна учитывать обязательное условие возникновения восстанавливающего момента при опасном положении органов дыхания спасателя (рисунок 5).

При выборе мест размещения элементов положительной остойчивости определим поперечный метацентр ККИЗ: точку, являющуюся центром кривизны той траектории, по которой центр плавучести перемещается при поворачивании спасателя относительно горизонтали *O-O* (рисунок 4).

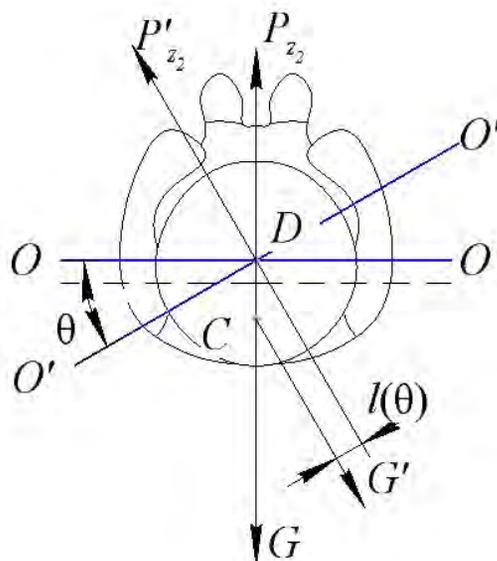


Рисунок 4 – Схема образования восстанавливающего момента

Положение метацентра при совпадении горизонтали $O-O$ и линии поверхности воды, согласно схеме образования восстанавливающего момента (рисунок 4), соответствует определению начального поперечного метацентра (точка D'). В соответствии с теорией остойчивости установлено, что чем ниже располагается центр тяжести спасателя по отношению к начальному метацентру (рисунок 5 а), тем больше будет плечо восстанавливающего момента и сам этот момент.

При повороте спасателя лицом вниз центр тяжести тела C находится выше центра давления (плавучести) D (рисунок 5 б). В соответствии со схемой, представленной на рисунке 3 б, имеет место нестойчивое равновесие, при котором сила тяжести и сила плавучести при малейшем колебании образуют пару сил с увеличивающимся восстанавливающим моментом. Спасатель за некоторый промежуток будет поворачиваться в сторону остойчивого равновесия лицом вверх (рисунок 4). Для увеличения величины восстанавливающего момента и, следовательно, скорости поворота, целесообразно располагать дополнительные элементы, обеспечивающие положительную плавучесть костюма, в области предплечья.

Таким образом, при проектировании ККИЗ целесообразно разместить элементы положительной плавучести из вспененного полиэтилена преимущественно в жилете:

- в области грудной клетки, обеспечивая остойчивое равновесие спасателя лицом вверх (зона 1 на рисунке 6 а);

- в верхней части плечевого пояса со стороны спины и дополнительно во внутреннем теплоизоляционном комбинезоне в затылочной области (зона 2 на рисунке 6 б) для поддержания органов дыхания над поверхностью воды.

Кроме того, для создания максимальных восстанавливающих моментов требуется установить элементы положительной плавучести во внутреннем теплоизолирующем комбинезоне в области предплечий (зона 3 на рисунке 6).

Результаты проведенных теоретико-экспериментальных исследований были использованы при определении места расположения и конфигурации элементов положительной плавучести, разработке чертежей лекал деталей жилета и внутреннего теплоизолирующего комбинезона ККИЗ (рисунок 7), а также при расчете фактической площади вспененного полиэтилена (рисунок 8).

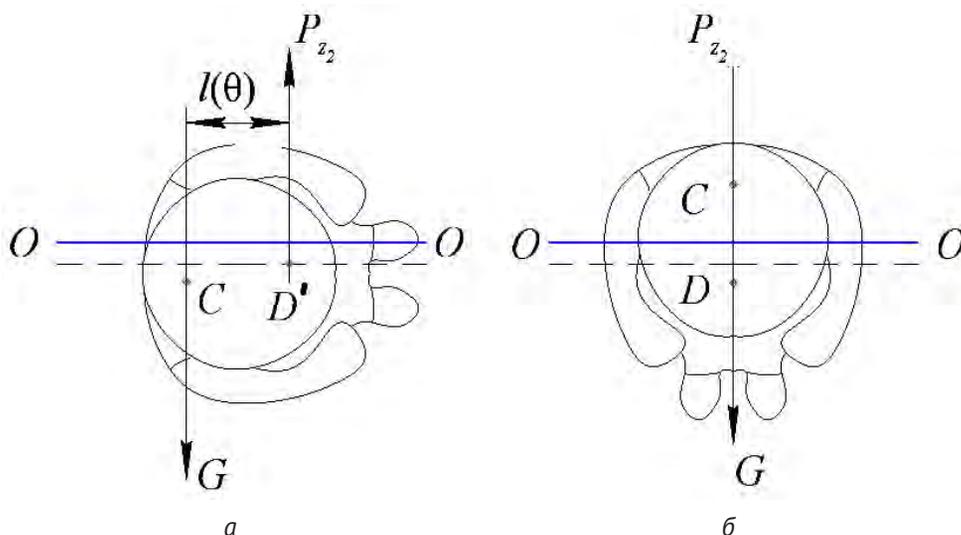


Рисунок 5 – Схема обеспечения поперечной положительной остойчивости модернизированного ККИЗ: а – плечо восстанавливающего момента; б – взаимное расположение центров тяжести и плавучести тела при повороте спасателя лицом вниз

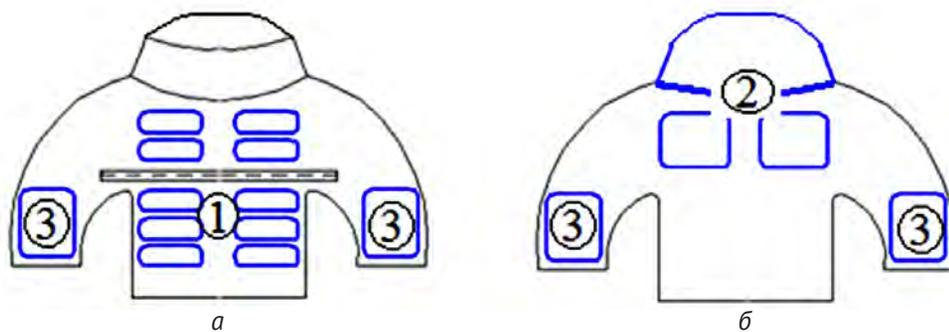


Рисунок 6 – Рациональный вариант размещения элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена в объеме жилета и дополнительных элементов на участках теплоизолирующего комбинезона ККИЗ: а – вид спереди; б – вид сзади

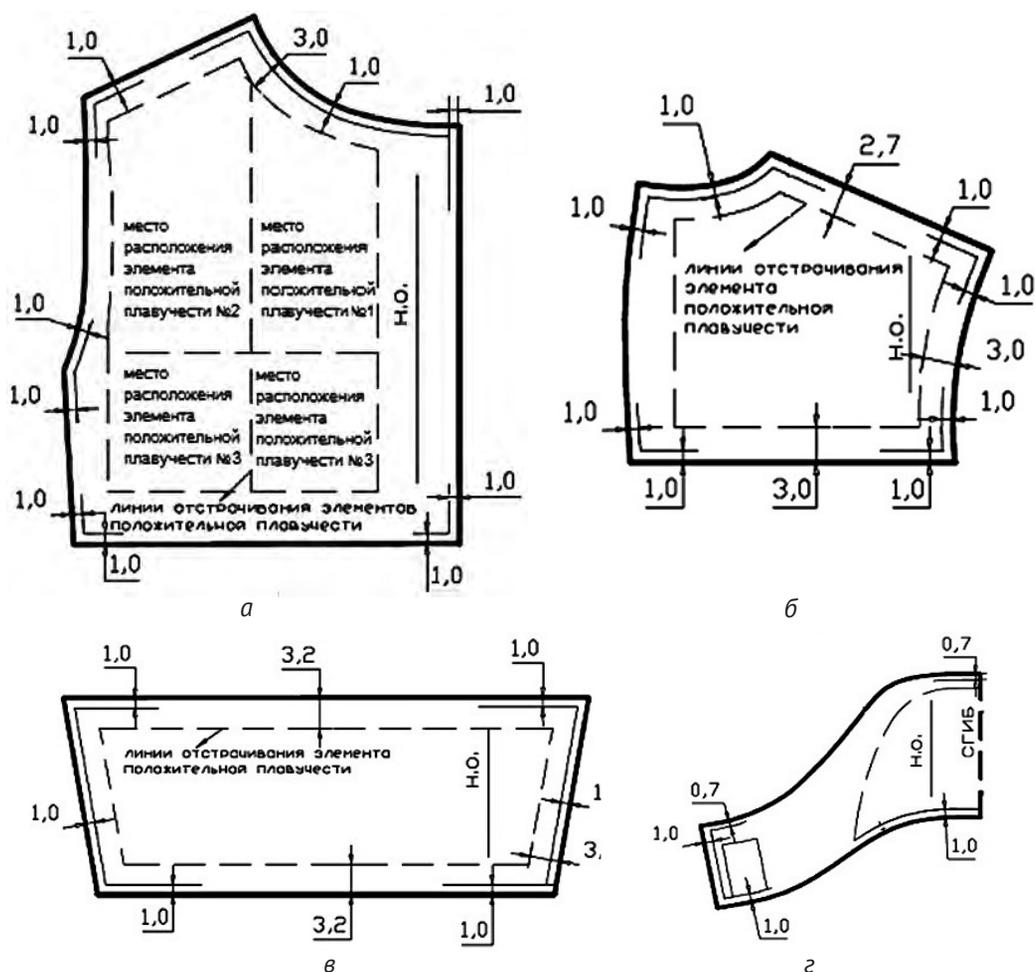


Рисунок 7 – Чертежи лекал деталей ККИЗ, содержащих элементы положительной плавучести из вспененного полиэтилена: а – перед жилета; б – спинка жилета; в – подкладка элемента положительной плавучести рукава теплоизолирующего комбинезона; г – воротник теплоизолирующего комбинезона

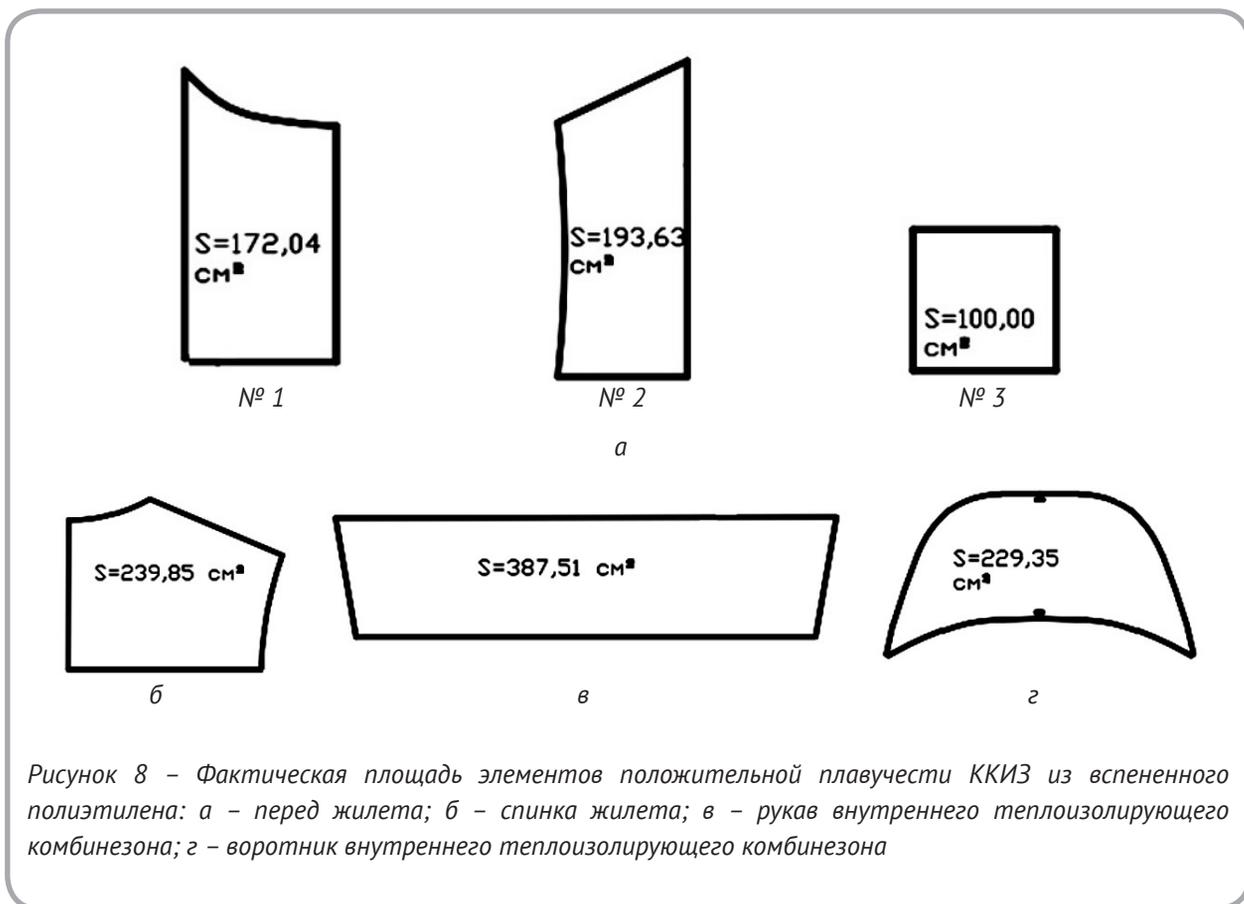


Рисунок 8 – Фактическая площадь элементов положительной плавучести ККИЗ из вспененного полиэтилена: а – перед жилета; б – спинка жилета; в – рукав внутреннего теплоизолирующего комбинезона; г – воротник внутреннего теплоизолирующего комбинезона

В таблице 1 приведена фактическая площадь элементов положительной плавучести на участках спинки, переда жилета, а также допол-

нительно на участках рукава, воротника теплоизолирующего комбинезона ККИЗ.

Таблица 1 – Фактическая площадь элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена на участках спинки и переда жилета, рукавов и воротника теплоизолирующего комбинезона ККИЗ

Наименование детали	Количество деталей, шт	Фактическая площадь одного элемента, $S', \text{см}^2$	Общая фактическая площадь, $S, \text{см}^2$
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 1 рисунок 8, а)	6	172,04	1 032,4
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 2 рисунок 8, а)	6	193,64	1 161,84
Элемент положительной плавучести переда жилета (№ 3 рисунок 8, а)	12	100,00	1 200,0
Элемент положительной плавучести спинки жилета (рисунок 8, б)	4	239,85	959,4
Элемент положительной плавучести рукава внутреннего теплоизолирующего комбинезона (рисунок 8, в)	4	387,51	1 550,04
Элемент положительной плавучести воротника внутреннего теплоизолирующего комбинезона (рисунок 8, г)	2	229,35	458,70
Итого общая фактическая площадь элементов положительной плавучести			6 389,38

Таким образом, общая фактическая площадь элементов положительной плавучести из вспененного полиэтилена, размещенных по участкам конструкции жилета и теплоизолирующего комбинезона ККИЗ, составила 6 389,38 см^2 , что согласуется с расчетным значением общей площади элементов положительной плавучести, составляющей 6 359,3 см^2 при толщине одного слоя 8 мм . Следовательно, в проектируемом ККИЗ будет обеспечена собственная плавучесть костюма на уровне не менее 100 Н , а также возможность спасения обессилевших или потерявших сознание при чрезвычайных ситуациях потерпевшего и спасателя.

Результаты проведенных теоретико-экспериментальных исследований плавучести, положительной остойчивости в совокупности с типовым инженерным процессом разработки конструкторской документации на новую модель одежды

массового производства позволили обеспечить научно обоснованный подход к проектированию модернизированного варианта ККИЗ с элементами положительной плавучести.

Согласно результатам эксплуатационных испытаний, проведенных на базе центра водозащитно-спасательной службы ГПАСУ «РОСН» 28-29.10.2020, установлено, что предоставленный модернизированный экспериментальный образец ККИЗ с элементами положительной плавучести обладает необходимой быстротой надевания, эргономичностью, легкостью, достаточно устойчив к разрывам, обеспечивает положительную плавучесть и безопасность личного состава при проведении работ, связанных со спасением людей на воде (льду), нахождении на открытом воздухе при низкой температуре (письмо от 16.11.2020 № 52/03-06/848).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сухова, А. А. (2016), Анализ современных изолирующих материалов и средств индивидуальной защиты кожи на их основе, *Вестник технологического университета*, 2016, № 15 (Т. 19), С. 128–130.
2. Ольшанский, В. И., Довыденкова, В. П., Навроцкий, О. Д., Окунев, Р. В., Пенкрат, Д. И. (2019), Многослойные материалы на тканой основе и их применение для защитной одежды аварийно-спасательных подразделений МЧС Беларуси. Исследование структуры и физико-механических показателей материалов, *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*, 2019, № 2 (46), С. 136–149.
3. Европейский стандарт и требования Международной конвенции по спасению человеческой жизни на море для спасательных жилетов (2020), режим доступа: <https://volveter.ru/blog/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/trebovaniya-evropeyskogo-standarta-dlya-spasatelnykh-zhiletov> (дата доступа 15 октября 2020).

REFERENCES

1. Sukhova, A. A. (2016), Analysis of modern insulating materials and personal protective equipment based on them [Analiz sovremennyh izoliruyushchih materialov i sredstv individual'noj zashchity kozhi na ih osnove], *Vestnik tekhnologicheskogo universitetata – Vestnik of the Technological University*, 2016, № 15 (Т. 19), pp. 128–130.
2. Olshansky, V. I., Dovydenkova, V. P., Navrotsky, O. D., Okunev, R. V., Penkrat, D. I. (2019), Multilayer materials on a woven basis and their application for protective clothing of emergency rescue units of the Ministry of Emergency Situations of Belarus. Study of the structure and physical and mechanical properties of materials [Mnogoslojnye materialy na tkanoj osnove i ih primeneniye dlya zashchitnoj odezhdny avarijno-spasatel'nyh podrazdelenij MCHS Belarusi. Issledovanie struktury i fiziko-mekhanicheskikh pokazatelej materialov], *CHrezvyhajnye situacii: preduprezhdenie i likvidaciya – Emergencies: prevention and liquidation*, 2019, № 2 (46),

4. Требования к индивидуальным спасательным средствам согласно международного кодекса по спасательным средствам (2020), режим доступа: <http://morez.ru/trebovaniya-k-spasatelnim-sredstvam> (дата доступа 9 ноября 2020).
5. Акционерное общество «Уфимский завод эластомерных материалов, изделий и конструкций» (2017), *Костюм гидротермический*, РФ, Пат. 173692.
6. Одаренко, О. Б. (1996), *Спасательный гидротермокомбинезон*, РФ, Пат. 2234.
7. Добровольский, В. Н., Федотов, И. П. (2004), *Спасательный гидротермокостюм с откидным распахом (ГКТС-Р)*, Патент России, Пат. 48312.
8. Чакрыян, Г. С., Розе, А. Н., Деянышев, В. Н. [и др.] (2017), *Гидрокостюм сухого типа*, Патент России, Пат. 179727.
9. Яковлев, А. Ю. (2013), *Плавательный спасательный гидрокостюм*, Патент России, Пат. 137541.
10. Киннунен, А. И., Махалов, С. А. (2012), *Гидротермокостюм*, Патент России, Пат. 123761.
11. Триандафилов, А. Ф. (2003), *Гидравлика и гидравлические машины: учебное пособие*, Сыктывкар, 212 с.
12. Кацман, Ф. М., Коваленко, Б. П. (2003), *Основы остойчивости морского судна*, Санкт-Петербург, 48 с.
13. Асташов, С. П., Навроцкий, О. Д., Ольшанский, В. И., Довыденкова, В. П., Жерносек С. В. (2020), Исследование плавучести и остойчивости комбинированного костюма индивидуальной защиты, *Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация*, 2020, № 1 (47), С. 127–131.
- pp. 136–149.
3. European standard and requirements of the International Convention for the Saving of Life at Sea for life jackets [Evropejskij standart i trebovaniya Mezhdunarodnoj konvencii po spaseniyu chelovecheskoj zhizni na more dlya spasatel'nyh zhiletov] (2020), available at: <https://volveter.ru/blog/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/trebovaniya-evropeyskogo-standarta-dlya-spasatelnykh-zhiletov> (accessed 15 october 2020).
4. Requirements for personal life-saving appliances according to the international life-saving appliances code [Trebovaniya k individual'nyim spasatel'nyim sredstvam soglasno mezhdunarodnogo kodeksa po spasatel'nyim sredstvam] (2020), available at: <http://morez.ru/trebovaniya-k-spasatelnim-sredstvam/> (accessed 9 of november 2020).
5. Joint Stock Company «Ufa Plant of Elastomeric Materials, Products and Structures» (2017), *Kostyum gidrotermicheskij* [Hydrothermal suit], RF, Pat. 173692.
6. Odarenko, O. B. (1996), *Spasatel'nyj gidrotermokombinezon* [Rescue hydrothermosuit], RF, Pat. 2234.
7. Dobrovolsky, V. N., Fedotov, I. P. (2004), *Spasatel'nyj gidrotermokostyum s otkidnym raspahom (GKTS-R)* [Rescue immersion suit with folding opening (GKTS-R)], Russian Patent, Pat. 48312.
8. Chakryan, G. S., Rose, A. N., Deyanyshev, V. N. [and etc.] (2017), *Gidrokostyum suhogo tipa* [Dry wetsuit], Russian Patent, Pat. 179727.
9. Yakovlev, A. Yu (2013), *Plavatel'nyj spasatel'nyj gidrokostyum* [Swimming Rescue Wetsuit], Russian Patent, Pat. 137541.
10. Kinnunen, A. I., Makhalov, S. A. (2012), *Gidrotermokostyum* [Wetsuit], Russian Patent, Pat.

123761.

11. Triandafilov, A. F. (2003), *Gidravlika i gidravlicheskiye mashiny: uchebnoye posobiye* [Hydraulics and Hydraulic Machines: tutorial], Syktyvkar, 212 p.
12. Katsman, F. M., Kovalenko, B. P. (2003), *Osnovy ostoichivosti morskogo sudna* [Basics of the stability of a sea vessel], St. Petersburg, 48 p.
13. Astashov, S. P., Navrotsky, O. D., Olshansky, V. I., Dovydenkova, V. P., Zhernosek, S. V. (2020), Study of the buoyancy and stability of a combined personal protective suit [Issledovanie plavuchesti i ostoichivosti kombinirovannogo kostyuma individual'noj zashchity], *Chrezvychnyye situatsii: preduprezhdenie i likvidatsiya – Emergencies: prevention and liquidation*, 2020, № 1 (46), pp. 127–131.

Статья поступила в редакцию 01. 11. 2022 г.

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ МЕМБРАННЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ, БЛИЗКИХ К ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ**VAPOR PERMEABILITY OF MEMBRANE TEXTILE MATERIALS UNDER NEAR-OPERATIONAL CONDITIONS**

УДК 677.017.636

Е.И. Ивашко*, Д.К. Панкевич*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-47-52>**K. Ivashko*, D. Pankevich***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ**

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ, ТЕМПЕРАТУРА, СКОРОСТЬ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА

Объектом исследования являются мембранные текстильные материалы, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента.

Предметом исследования является уровень водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов.

Цель работы – определение влияния температуры и скорости наружного воздуха на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов различной структуры.

В процессе работы выполнен анализ условий проведения испытаний паропроницаемости материалов по стандартным методикам, показано, что в них отсутствует возможность моделирования условий эксплуатации.

Результат работы – выявлена зависимость паропроницаемости мембранных материалов различной структуры от температуры и от скорости движения наружного воздуха. Показано, что на величину паропроницаемости пористых мембранных материалов влияет разброс размеров пор и размер большинства пор.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

ABSTRACT

VAPOR PERMEABILITY, OPERATIONAL CONDITIONS, TEMPERATURE, OUTDOOR AIR VELOCITY

The article considers requirements to vapor permeability of membrane materials for waterproof clothing. Operational conditions of waterproof clothes are analyzed; the significance of test conditions for interpretation of research results and revealing factors that have a significant influence on the ability of membrane materials to transport water vapor from the space under the clothes to the outside, while maintaining a high level of water permeability is underlined. The analysis of conditions for tests of vapor permeability of materials by standard methods is performed, it is shown that they lack the ability to simulate operational conditions. The dependence of the vapor permeability of membrane materials with different structures on the temperature and on the velocity of outdoor air was revealed. It is shown that the value of vapor permeability of porous membrane materials is influenced by the variation of pore sizes and the size of the majority of pores, i.e., the greater these two values are, the higher the level of vapor permeability of the membrane porous material is. The values of the vapor permeability coefficient of materials used by sewing enterprises of Belarus for manufacturing waterproof outerwear for autumn-spring assortment have been determined. According to the experimental data, all the samples under study have a vapor permeability above the minimum allowable standard.

* E-mail: ivashkokatrinka@mail.ru (K. Ivashko)

Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой для исследования способности водозащитных материалов пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости. Стандартные методики, используемые для оценки паропрооницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения паропрооницаемости варьируются в широком диапазоне.

В результате анализа требований к значению коэффициента паропрооницаемости водонепроницаемых материалов отмечено, что согласно ГОСТ Р 57514-2017 минимально допустимое его значение для материалов, используемых в одежде при высокой физической активности носчика, составляет $360 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [1], компании-продавцы одежды из водонепроницаемых материалов предлагают ориентироваться на уровень не ниже $20\,000 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [2], а научные исследования показывают, что потоотделение человека при таком уровне физической активности составляет порядка $40\,000 \text{ г/м}^2/24 \text{ ч}$ [3]. Такой разброс рекомендуемых значений обусловлен различиями в методиках и средствах определения коэффициента паропрооницаемости, что приводит к получению существенно разных результатов для одного и того же образца материала. Поэтому интерпретация результатов испытаний зависит от используемой методики.

Согласно требованиям стандартных методик к условиям проведения испытаний по определению паропрооницаемости [1,4–8] температура воздуха снаружи испытательной конструкции изменяется в диапазоне свыше $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Реальный диапазон условий носки водонепроницаемой одежды значительно шире: он начинается при более низких температурах, а при $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и выше в водонепроницаемую одежду одеваются только узкоспециализированные группы носчиков. В основном, для бытовой и спортивной одежды характерными условиями носки являются параметры приземного макроклимата осенне-весеннего и зимнего периодов года. Для территории

Республики Беларусь среднесезонные температуры в эти периоды составляют от $(-3) \text{ }^\circ\text{C}$ до $(+8) \text{ }^\circ\text{C}$ [9]. По данным литературных источников погодные условия по убыванию влияния на паропрооницаемость одежды располагаются в следующем ряду: температура, ветер, влажность наружного воздуха [3].

Проникновение пара через материал обусловлено процессами диффузии вследствие разности давлений пара в атмосферной среде и пододежном пространстве и сорбции-десорбции, а также конвективными и другими процессами, вызывающими движение воздуха у поверхности материала [10]. В своих работах Б.Б. Койранский, Ю.В. Вадковская, В.И. Кузьмина [11, 12] подчёркивают влияние температуры и скорости движения наружного воздуха на паропрооницаемость материала. Указанные выводы справедливы для материалов иной конструкции, нежели мембранные водонепроницаемые материалы, поэтому имеет смысл экспериментальная проверка гипотезы о том, что паропрооницаемость мембранных водонепроницаемых материалов существенно зависит от температуры и скорости движения наружного воздуха.

Анализ условий проведения испытаний стандартных методик [1,4–8] представлен в таблице 1.

Ни одна из рассматриваемых методик (таблица 1) не обеспечивает близких к эксплуатационным условиям проведения испытаний. Для устранения этого пробела авторами статьи был проведен эксперимент по определению паропрооницаемости гравиметрическим методом при создании определенных климатических условий и моделировании потоотделения человека. В ходе эксперимента на образцы оказывалось воздействие температуры наружного воздуха в диапазоне среднесезонных температур осенне-весеннего и зимнего периодов года и воздействие потока воздуха над образцами (обдува) в диапазоне скоростей от 0 до $0,6 \text{ м/с}$.

Эксперимент позволяет определить паропрооницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным, и оценить влияние регулируемых параметров на величину паропрооницаемости.

Целью данной работы является определение влияния температуры и скорости наружного воз-

Таблица 1 – Анализ условий проведения испытаний по определению паропроницаемости

Наименование ТНПА	Условия проведения испытания		
	Температура воздуха снаружи, °C	Температура нагрева воды, °C	Скорость движения наружного воздуха, м/с
ГОСТ Р 57514-2017	20±2	-	не более 0,1
ГОСТ 938.17-70	20±3	-	-
ГОСТ 30568-98	20±2	32±1	-
ГОСТ 22900-78	28±1	-	-
	20±2	32±1	-
ГОСТ 21472-81	25±0,5	-	-
	38±0,5	-	-
	20±1,0	-	-
ГОСТ 29060-91 (ИСО 6179-89)	23±2	-	-
	27±2	-	-

духа на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов различной структуры.

Для реализации поставленной цели были исследованы образцы мембранных текстильных материалов, применяемых для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Текстильные слои всех исследуемых образцов – ткани различных переплетений, выработанные из мультифиламентных химических нитей. Мембранный слой у всех объектов исследования выполнен из полиэфируретана

с различными добавками. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 2. Данные о размере и количестве пор были получены методом порометрии на приборе POROLUX™100.

Диапазон и интервалы варьирования управляемых факторов определяли исходя из данных [13] и технических возможностей устройства. Управляемые факторы и уровни их варьирования представлены в таблице 3. Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 4.

Таблица 2 – Характеристика исследуемых образцов

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Толщина, мм		Размер пор, мкм		Размер большинства пор, мкм
		общая	мембраны	max	min	
1	128	0,26	0,14	11,21	2,50	2,10
2	172	0,24	0,02	0,87	0,08	0,10
3	160	0,22	0,10	1,09	0,49	1,09
4	139	0,20	0,10	1,22	0,1	0,75

Таблица 3 – Управляемые факторы и уровни их варьирования

Обозначение и наименование факторов	Уровни варьирования			Интервал
<i>T</i> – температура наружного воздуха, °C	4	10	16	6 °C
<i>V</i> – скорость движения наружного воздуха, м/с	0	0,3	0,6	0,3 м/с

Таблица 4 – Матрица планирования эксперимента

№ п/п	T Температура воздуха, °C	V Скорость движения наружного воздуха, м/с	VP_1 Паропроницаемость образца № 1, г/м ² /24 ч	VP_2 Паропроницаемость образца № 2, г/м ² /24 ч	VP_3 Паропроницаемость образца № 3, г/м ² /24 ч	VP_4 Паропроницаемость образца № 4, г/м ² /24 ч
1	16	0,6	6216	1440	7453	2287
2	16	0,3	6108	1321	7165	2287
3	16	0	5861	1592	7453	2439
4	10	0,6	4760	1135	7250	1745
5	10	0,3	3964	1205	7131	1423
6	10	0	4946	1338	7063	1626
7	4	0,6	3134	914	5979	1169
8	4	0,3	4235	1050	6029	1253
9	4	0	4251	830	6335	1220

Далее с помощью пакета прикладных программ «Statistica for Windows» были найдены оценки коэффициентов регрессии. Уравнения регрессии для исследуемых образцов имеют вид (1–4).

$$VP_1 = 3006,94 + 182,36 \cdot T; (R^2=0,77) \quad (1)$$

$$VP_2 = 769,72 + 43,31 \cdot T; (R^2=0,80) \quad (2)$$

$$VP_3 = 5837,56 + 103,56 \cdot T; (R^2=0,80) \quad (3)$$

$$VP_4 = 780,17 + 93,64 \cdot T; (R^2=0,92) \quad (4)$$

Оценка качества моделей показала, что коэффициенты регрессионных уравнений значимы. Значения коэффициентов детерминации подтверждают, что модели являются статистически значимыми.

Самые высокие значения паропроницаемости наблюдались у образцов № 1 и № 3, самые

низкие – у образца № 2. Значение паропроницаемости у всех образцов увеличивалось при увеличении температуры воздуха, как при максимальной скорости движения наружного воздуха, так и при полном отсутствии движения воздуха. Уравнения регрессии имеют вид прямой, следовательно, имеем линейную зависимость паропроницаемости от температуры.

Если анализировать данные о поровой структуре образцов (таблица 2), то заметно, что наивысшими значениями паропроницаемости обладают образцы, характеризующиеся наибольшим разбросом размеров пор (*max / min*) в сочетании с наибольшим размером большинства пор.

Для накопления исследовательских знаний в вопросе влияния различных факторов на уровень паропроницаемости мембранных текстильных материалов целесообразно провести полный факторный эксперимент по предложенной методике с более широким интервалом варьирования скорости движения наружного воздуха, поскольку в исследуемом диапазоне изменения скорости движения наружного воздуха его влияние оказалось незначимым.

Анализируя полученные регрессионные модели, можно сделать заключение о том, что изменение скорости движения наружного воздуха в рассматриваемом диапазоне оказывает незначительное влияние на уровень паропроницаемости. Основным фактором, влияющим на паропроницаемость мембранных текстильных

материалов, является температура воздуха.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23–24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 57514-2017. *Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия*, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
2. Разумно о мембранах [Электронный ресурс], режим доступа: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html>, дата доступа: 30.08.2022.
3. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. ГОСТ 938.17-70. *Кожа. Метод определения паропроницаемости*, введ. 01.07.1971, (1970), Москва, Госстандарт, 3 с.
5. ГОСТ 30568-98. *Полотна и изделия трикотажные. Метод определения паропроницаемости и влагопоглощения*, введ. 01.01.1999, (1998), Москва, МГС, 10 с.
6. ГОСТ 22900-78. *Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропроницаемости и влагопоглощения*, введ. 01.01.1979, (1978), Москва, Издательство стандартов, 14 с.
7. ГОСТ 21472-81. *Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости*, введ. 01.08.1981, (2008), Москва, Стандартинформ, 7 с.

REFERENCES

1. GOST R 57514-2017. *Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions*, introduced. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24 p.
2. Reasonably about membranes [Razumno o membranah], available at: <https://baskcompany.ru/info/stati/membrani-i-tkani/membrane2.html> (access date: 30.08.2022).
3. Williams, J. T. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. GOST 938.17-70. *Leather. Method for determination of vapour permeability*, introduced. 01.07.1971, (1970), Moscow, Gosstandart, 3 p.
5. GOST 30568-98. *Fabrics and knitted goods. Method for determination of vapour permeability and moisture absorption*, introduced. 01.01.1999, (1998), Moscow, MSU, 10 p.
6. GOST 22900-78. *Artificial leather and film materials. Methods of determination of vapour permeability and moisture absorption*, 01.01.1979, (1978), Moscow, Publishing house of standards, 14 p.
7. GOST 21472-81. *Sheet materials. Gravimetric method for determination of vapor permeability*, introduced. 01.08.1981, (2008), Moscow, Standardinform, 7 p.

8. ГОСТ 29060-91 (ИСО 6179-89). *Ткани с резиновым покрытием. Определение паропрооницаемости летучих жидкостей (гравиметрический метод)*, введ. 01.01.2001, (2004), Москва, Издательство стандартов, 5 с.
9. Болотко, Л. М., Людчик, А. М., Умрейко, С. Д. (2021), Динамические климатические нормы метеопараметров для г. Минска, *Природные ресурсы*, 2021, № 1, С. 5–14.
10. Курмашева, Д. М. (2015), *Адсорбция и процессы переноса молекул воды в пористых и мелкодисперсных средах : дис. ... канд. физ.-мат. наук*, Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Москва, 112 с.
11. Полиевский, С. А. (1987), *Гигиена спортивной одежды и снаряжения*, Москва, Физкультура и спорт, 111 с.
12. Лаптев, А. П., Полиевский, С. А. (1990), *Гигиена: учебник*, Москва, Физкультура и спорт, 267 с.
13. Даргевич, В. И. (2013), Климатические особенности регионов Республики Беларусь, *Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса»*, Минск, БНТУ, Т. 1, С. 17–20.
8. GOST 29060-91 (ISO 6179-89). *Rubber-coated fabrics. Determination of vapour permeability of volatile liquids (gravimetric method)*, introduced. 01.01.2001, (2004), Moscow, Publishing house of standards, 5 p.
9. Bolotko, L. M., Ludchik, A. M., Umreiko, S. D. (2021), Dynamic climatic norms of meteoroparameters for Minsk [Dinamichnye klimaticheskie normy meteoroparametrov dlya g. Minska], *Prirodnye resursy – Natural Resources*, 2021, No. 1, pp. 5–14.
10. Kurmasheva, D. M. (2015), *Adsorbciya i processy perenosa molekuly vody v poristykh i melkodispersnykh sredah : dis. ... kand. fiz.-mat. nauk* [Adsorption and transport processes of water molecules in porous and fine-dispersed media : Ph. Ph.D. in Physics and Mathematics], Prokhorov Institute of General Physics. A.M. Prokhorov Institute of General Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, 112 p.
11. Polievsky, S. A. (1987), *Gigiena sportivnoj odezhdy i snaryazheniya* [Hygiene of sportswear and equipment], Moscow, Fizkultura i sport, 111 p.
12. Laptev, A. P., Polievsky, S. A. (1990), *Gigiena: uchebnyk* [Hygiene: textbook], Moscow, Physical Education and Sport, 267 p.
13. Dargevich, V. I. (2013), Climatic features of the regions of the Republic of Belarus [Klimaticheskie osobennosti regionov Respubliki Belarus'], *Collection of reports of the Republican scientific and technical conference of graduate students, undergraduates and students "Innovations in machinery and technology of the road transport complex"*, Minsk, BNTU, Vol. 1, pp. 17–20.

Статья поступила в редакцию 21. 09. 2022 г.

ОЦЕНКА ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ, ЗАЩИЩАЮЩИХ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

EVALUATION OF THE SHIELDING PROPERTIES OF FABRICS PROTECTING AGAINST ELECTROMAGNETIC RADIATION

УДК 677.024 : 537.874.7

Д.Б. Рыклин^{1*}, О.А. Дубровская²

¹Витебский государственный технологический университет

²Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-53-63>

D. Ryklin^{1*}, V. Dubrouskaya²

¹Vitebsk State Technological University

²Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University

РЕФЕРАТ

ЭКРАНИРУЮЩАЯ ТКАНЬ, ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, СТАЛЬНОЕ ВОЛОКНО BEKINOX, ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКРАНИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ТКАНЕЙ

Объект исследований – антистатические ткани, содержащие в своем составе стальные волокна Bekinox. Цель работы – оценка эффективности экранирования электромагнитного излучения при использовании тканей, содержащих в своем составе стальные волокна Bekinox. Определено влияние содержания волокна Bekinox в ткани на коэффициенты отражения и передачи электромагнитного излучения в частотном диапазоне 0,7 до 17 ГГц. Оценено влияние использования двухслойных пакетов тканей на эффективность экранирования. Доказана целесообразность использования многослойных пакетов тканей, содержащих антистатические нити, для повышения эффективности экранирования в диапазоне от 0,8 до 1,5 ГГц. Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для экранирования электромагнитного излучения в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

ABSTRACT

SHIELDING FABRIC, ELECTROMAGNETIC RADIATION, BEKINOX STEEL FIBER, STUDY OF SHIELDING PROPERTIES OF FABRICS

The object of research is shielding antistatic fabrics containing Bekinox steel fibers. The objective of the work is to determine the shielding efficiency of fabrics containing Bekinox steel fibers, providing a given level of shielding properties, for subsequent consideration of the information obtained when developing a technique for designing fabrics for special purposes. The optimal distance between electrically conductive threads was selected for the production of fabric with shielding properties, which allows creating the best reflective effect of electromagnetic radiation (EMR) on the fabric. As a result of statistical processing of experimental data, a mathematical model was developed that describes the dependence of the fabrics shielding efficiency coefficient on the distance between electrically conductive threads of Bekinox steel fibers in the warp and weft of 5 mm and 10 mm. When analyzing the test results of shielding fabrics, it was found that under UHF radiation only 4-layered fabrics can be used with the distance between electrically conductive yarns of 5 mm, they have sufficient shielding ability. With an increase in the radiation frequency to 18 GHz, the shielding ability of fabrics decreases to 25 dB. Consequently, these investigated fabrics can be used as a radio absorbing material with protective properties in the microwave range.

* E-mail: ryklin-db@mail.ru (D. Ryklin)

Экранирование электромагнитных полей (ЭМП) является актуальной задачей защиты здоровья, информационной безопасности, электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии жилых помещений, защиты помещений для серверов и электронного оборудования.

В результате в настоящее время практически всё население земного шара в большей или меньшей степени подвергается воздействию надфоновых уровней ЭМП [1]. Всемирная организация здравоохранения включила проблему электромагнитного загрязнения окружающей среды в перечень приоритетных проблем человечества.

За последние десятилетия существенно расширился рабочий диапазон частот и возросли уровни мощности электромагнитных полей, увеличилось число источников помех самой разнообразной природы. Спектр электромагнитных полей включает низкие частоты до 3 Гц , промышленные частоты $3\text{--}300 \text{ Гц}$, радиочастоты $30 \text{ Гц--}300 \text{ МГц}$, а также относящиеся к радиочастотам ультравысокие частоты (УВЧ) $300 \text{ МГц--}3 \text{ ГГц}$ и сверхвысокие частоты (СВЧ) $3\text{--}30 \text{ ГГц}$.

Степень воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) на организм человека зависит от диапазона частот, интенсивности воздействия соответствующего фактора, продолжительности облучения, характера излучения, режима облучения, размеров облучаемой поверхности тела, индивидуальных особенностей организма, комбинированного действия совместно с другими факторами производственной среды (температура воздуха более $+28 \text{ }^\circ\text{C}$, наличие рентгеновского излучения, шум и др.). Поэтому увеличение параметров ЭМП, значительно отличающихся от предельно-допустимых норм, могут вызвать поражение сердечно-сосудистой, нервной, дыхательной и пищеварительной систем, изменения показателей крови, обмена веществ и некоторых функций эндокринных желез. Среди последствий электромагнитного загрязнения специалисты называют также нарушения поведения, потерю памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, синдром внезапной смерти у грудных детей, расстройства половой функции и другие серьезные патологические заболевания. По некоторым данным, значительная часть случаев

инфаркта миокарда в крупных городах вызвана «скачками» мощных техногенных низкочастотных электромагнитных полей [2].

Энергия высоких и ультравысоких радиочастот (ВЧ, УВЧ) широко применяется в радиосвязи, радиовещании, телевидении, в промышленных установках и технологических процессах для нагрева, закалки иковки металлов, термической обработки диэлектриков и полупроводников. Электромагнитная энергия сверхвысоких частот получила широкое применение в радиолокации, радионавигации, радиоастрономии, радиоспектроскопии, ядерной физике, медицине, промышленности и быту. Кроме того, дальнейшее совершенствование новых типов СВЧ-генераторов позволит в ближайшем будущем применять энергию СВЧ-диапазона в радарных системах транспортных средств для предупреждения столкновений, в дорожных системах сигнализации, в мощных системах наземной и спутниковой связи и др. [1].

Для ослабления электрических, магнитных и электромагнитных полей, а именно для того, чтобы исключить проникновение и воздействие таких полей на элементы, блоки, приборы, кабели, помещения, здания, а также для того, чтобы подавить исходящие из электрических и электронных, промышленных средств и устройств помехи, обусловленные полями, применяются различные средства экранирования. Традиционно для создания электромагнитных экранов чаще применяются материалы в виде стальных, медных, алюминиевых листов или фольги, а также современные гибкие композитные материалы в виде сетки, ткани или пленки. Чем выше удельная проводимость материала экрана, тем эффективнее экранирование.

Одним из перспективных вариантов замены металлических экранов являются антистатические ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования тканей являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воздухопроницаемость и легкость экрана в сравнении с металлическими листами. Ткани с высокой электропроводностью все чаще используются для защиты от электромагнитных помех и электростатической защиты в различных областях, таких как экраны для корпусов

оборудования, защитная одежда для персонала, работающего в магнитных полях высокого напряжения или в радиочастотных, микроволновых средах, способной надежно защищать человека от вредного СВЧ- и УВЧ-воздействия; одежда с подогревом, экранирующие и заземляющие шторы, гибкие экранированные кофухи, халаты, чулки, ботинки и т. д. Не менее важными областями применения можно назвать экранирование геопатогенных зон и физиотерапевтических кабин, оборудование «чистых» комнат и «безэховых» камер, снятие статического электричества. В настоящее время металлические нити в сетеполотнах нашли применение при создании космических антенн.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением волокон Bekinox компании Bekaert [3]. Данное волокно представляет собой отрезки проволоки из нержавеющей стали. Выпуск смешанной пряжи с вложением волокон Bekinox в сочетании с другими волокнами освоен на ОАО «Гронитекс» [4].

Целью данной работы является оценка эффективности экранирования тканей, содержащих в своем составе стальные волокна Bekinox.

Многочисленные исследования по разработке текстильных материалов с экранирующими и антистатическими свойствами являются одними из наиболее перспективных направлений развития ассортимента материалов технического назначения. В настоящее время работы по созданию текстильных материалов для экранирования электромагнитного излучения и анализу эффективности их применения ведутся рядом исследовательских центров.

Исследования Xiao H, Tang Z.H и Wang Q. [5] показали, что общие факторы, влияющие на эффективность экранирования ткани, включают частоту электромагнитной волны и направление поляризации, параметры нитей из металлических волокон, а также расположение нитей из металлических волокон. Также авторами было выдвинуто предположение, что эффективной экранирующей структурой ткани, содержащей металлическую нить, является проводящая решетчатая структура. Это связано с тем, что хлопок и другие традиционные текстильные волокна почти прозрачны для электромагнитных волн

[6]. Таким образом, в основном проводящие компоненты обладают эффектом экранирования электромагнитного излучения. Среди них основным фактором, влияющим на эффективность экранирования, выделены также структурные параметры металлической сетки, такие как расстояние между электропроводящими нитями (ЭН), их диаметр и т.д.

Китайскими учёными Ching-luan Su и Jin-Tsair Chern [7] были проведены испытания тканей из смешанной пряжи, содержащих в своем составе волокна из нержавеющей стали. Они пришли к выводу, что ткани более плотной структуры характеризуются более высоким эффектом экранирования. Кроме того, образцы защитных тканей, изготовленных из нержавеющей стали разных марок, имеют экранирующий эффект на разных измеренных частотах. При анализе типов переплетения, был сделан вывод, что плотное переплетение позволяет достичь более высоких показателей защиты от ЭМИ, чем другие типы переплетения.

Ученые Huseyin Gazi Ortlek, Omer Galip Saracoglu, Ozgur Saritas, Sinem Bilgin (Университет Эрджиес, Турция) [8] изучали свойство электромагнитного экранирования тканых материалов, состоящих из гибридных нитей. В качестве токопроводящей части гибридной пряжи была выбрана проволока из нержавеющей стали диаметром 0,035 мм, имеющая 8,0 кг/дм³. Поверхностная плотность образцов тканей составляла от 93 до 120 г/м². В результате эксперимента все образцы показали значения эффективности экранирования ЭМИ 25–65 дБ для диапазона частот 30 МГц–9,93 ГГц. При этом значения эффективности экранирования уменьшались с увеличением частоты ЭМИ для всех образцов тканей. Результаты испытаний показывают, что плотность основы и утка также имеет важную роль для выполнения защитных функций тканей в зависимости от поляризации электромагнитных волн. Повышение плотности ткани по утку приводит к достижению более высоких показателей эффективности экранирования ЭМИ полотна при вертикальной поляризации электромагнитных волн. Также в ходе экспериментов было выявлено, что ориентация и плотность расположения в ткани антистатических нитей, а также вид переплетения ткани являются важными

ми факторами, оказывающими влияние на эффективность электромагнитного экранирования тканых материалов.

Учеными из Чжунчжоуаньский технологического университета [9] проанализировано влияние содержания металлических волокон на эффективность экранирования ткани и обсуждено влияние переплетения ткани, частоты излучения, а также плотности по основе и по утку. Для исследования были изготовлены образцы ткани с различным видом переплетения из пряжи, содержащей 25 % волокон из нержавеющей стали, 35 % хлопка и 40 % полиэфирного волокна. Диаметр волокна из нержавеющей стали составляет 8 *мкм*, содержание стальных волокон в опытных образцах от 39 до 56 *г/м²*. Исследования были проведены при частоте ЭМИ от 2200 *МГц* до 2650 *МГц*. В ходе эксперимента значение эффективности экранирования для ткани полотняного переплетения является наибольшим и составляет примерно 35 *дБ* при содержании стальных волокон 56 *г/м²*, эффективность экранирования ткани переплетения саржа 2/1 ниже в среднем на 1 *дБ*, а для ткани переплетения сатин 5/3 эффективность экранирования ниже еще на 0,8 *дБ*. Согласно полученным авторами экспериментальным результатам, эффективность экранирования в незначительной степени зависит от вида переплетения и повышается с увеличением процентного содержания металлического компонента и уменьшением частоты электромагнитного излучения.

В статье [10] рассмотрены ткани с расположением нитей, содержащих сталь по основе и по утку, образуя проводящую решетчатую структуру. Было использовано 14 тканей с одинаковой структурой переплетения (полотняное переплетение). Опытные образцы тканей испытывали в диапазоне частот ЭМИ 4–14 *ГГц*. Содержание стальных волокон в тканях составляло от 19 % до 45 %. Масса стали в 1 квадратном метре ткани изменялась в значительном диапазоне и составляла не менее 15 *г/м²*. В ходе экспериментов установлено, что в опытных образцах тканей при одной и той же частоте ЭМИ с увеличением диаметра стальных волокон до 35 *мкм* эффективность экранирования будет постепенно увеличиваться до 35 *дБ*, но при том же диаметре эффективность экранирования уменьшается до

25 *дБ* с увеличением частоты ЭМИ. Также в ходе эксперимента было отмечено, что с увеличением расстояния между нитями с решетчатой структурой, содержащих нити из нержавеющей стали, эффективность экранирования уменьшалась.

Таким образом, многочисленные исследования по разработке текстильных материалов с экранирующими и антистатическими свойствами являются одними из наиболее перспективных направлений развития ассортимента материалов технического назначения в мире и в Республике Беларусь. При этом важно отметить, что существенный экранирующий эффект достигался при чрезвычайно высоком содержании металлических волокон, следствием чего являлось повышение стоимости тканей и изменение их основных потребительских свойств.

Проведенный анализ источников показал актуальность решения поставленной задачи.

Теория экранирования основана на двух фундаментальных принципах – на отражении и поглощении электромагнитных волн при переходе их из одной материальной среды в другую. Оба эти эффекта снижают энергию электромагнитного поля, прошедшую за экран.

Считается, что материалы отвечают минимальным требованиям по экранированию, если эффективность экранирования находится в диапазоне от 10 до 30 *дБ*, а достаточным экранированием считается достижение значений от 30 до 60 *дБ*.

В таблице 1 представлены характеристики опытных образцов тканей, в структуре которых в виде сетки с прямоугольной ячейкой располагались антистатические нити, то есть пряжа с содержанием 10 % стальных волокон Bekinox.

В условиях лаборатории кафедры защиты информации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники (г. Минск) наработанные ткани исследовались на способность экранировать (отражать) электромагнитные волны.

Для исследования экранирующих характеристик данных тканей использовался панорамный измеритель коэффициентов передачи и отражения SNA 0,01–18, состоящий из блока обработки измерительных сигналов и блока генератора качающейся частоты (ГКЧ), работающий по принципу отдельного выделения и непосред-

Таблица 1 – Характеристика опытных образцов тканей

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2	
	основа	уток	основа	уток
Переплетение ткани	Саржа 2/2		Саржа 2/2	
Вид нити	хлопчатобумажная пряжа 25 текс × 2, пряжа 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox)		хлопчатобумажная пряжа 25 текс × 2, пряжа 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox)	
Плотность нитей в ткани, <i>нит./1 см</i>	17,4	18	17,4	18
Расстояние между антистатическими нитями, <i>см</i>	1,0	1,0	0,5	0,5

ственного детектирования уровней падающей и отражающей волн [11]. Излучение и прием электромагнитных волн обеспечивался с помощью антенн П6 23М в диапазоне частот 0,7–17,0 ГГц.

В результате испытаний опытных образцов тканей получены зависимости коэффициентов передачи и отражения тканей от частоты ЭМИ. В результате объединения результатов испытаний образцов в частотных диапазонах 0,7–3 ГГц и 2–17 ГГц получены зависимости в диапазоне частот от 0,7 до 17 ГГц, представленные на рисунках 1 и 2.

Анализ экспериментальных результатов позволяет утверждать, что по коэффициенту передачи, характеризующему ослабление ЭМИ, образец 2 имеет явное преимущество практически во всем исследуемом частотном диапазоне ЭМИ (за исключением участка от 0,7 до 1 ГГц) по сравнению с образцом. Можно отметить, что коэффициент передачи обоих образцов с увеличением частоты ЭМИ снижается. Наиболее стабильное значение коэффициента передачи образца 2 наблюдается в диапазоне от 1 до 2,5 ГГц, в котором среднее значение исследуе-

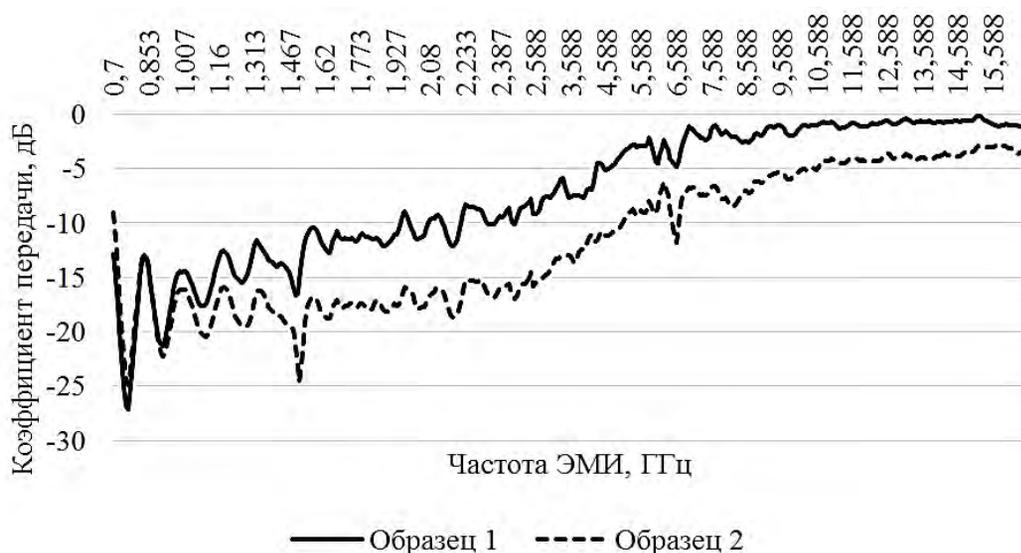


Рисунок 1 – Частотные зависимости коэффициентов передачи образцов тканей

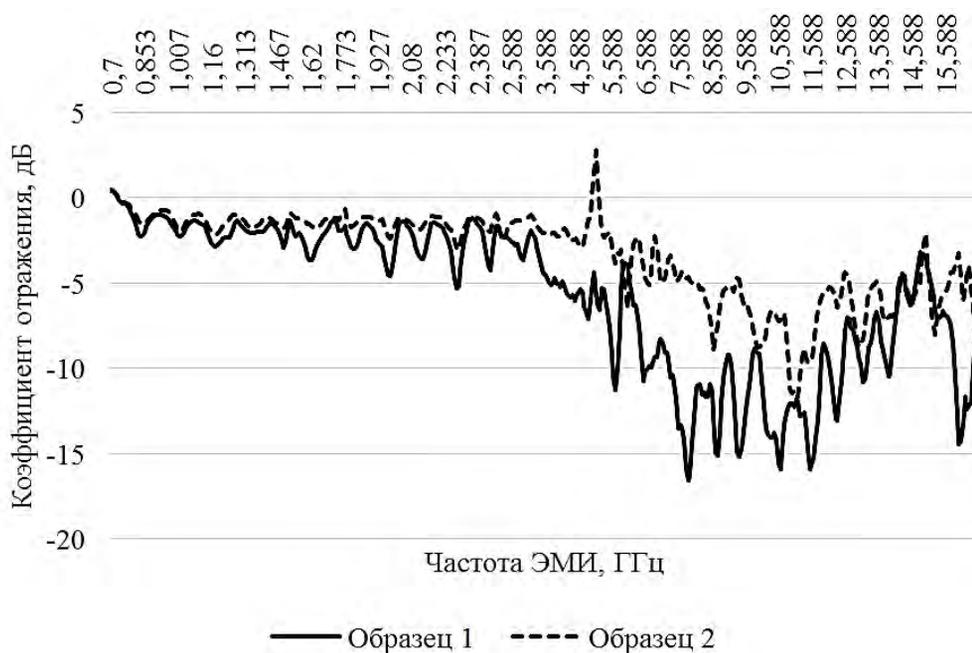


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения образцов тканей

мого показателя составляет 17,5 **дБ**. В более широком диапазоне 0,7–5 **ГГц** значение коэффициента передачи образца 2 остается на уровне не ниже 10 **дБ**.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 2, показывает, что коэффициенты отражения существенно не различаются и не превышают 5 **дБ** в диапазоне 0,7–3 **ГГц**. Последующее повышение частоты ЭМИ приводит к увеличению коэффициента отражения обоих образцов. При этом, несмотря на меньшее процентное содержание в образце 1 стального волокна, значение исследуемого показателя для него в диапазоне от 5 до 12 **ГГц** превосходит значение коэффициента отражения для образца 2 в среднем на 5 **дБ**. Данная закономерность не является результатом влияния случайных факторов, так как была выявлена при проведении повторных испытаний. В среднем коэффициент отражения образца 1 в диапазоне частот ЭМИ от 3 до 12 **ГГц** составил 9,5 **дБ**.

Согласно источникам [12, 13], в общем случае степень ослабления ЭМИ, обеспечиваемая экраном, зависит от трех механизмов: это отражение

электромагнитной волны от экранирующего барьера, поглощение волны по мере ее прохождения через барьер (экран) и многократные отражения электромагнитной волны внутри экрана от границ раздела сред «металл–воздух» и «воздух–металл». Следовательно, эффективность экранирования определяется как сумма трех составляющих, определяющих эффективность перечисленных явлений:

$$S = R + A + B, \quad (1)$$

где **R** – составляющая, определяющая отражение от границы раздела при входе волны в экран, **дБ**; **A** – определяет эффективность экранирования за счет поглощения электромагнитной волны в толще экрана, **дБ**; **B** – характеризует потери за счет многократных отражений в толще экрана, **дБ**.

Принимая допущение о том, что в исследуемом случае коэффициент передачи характеризует степень ослабления ЭМИ за счет поглощения

и многократных отражений электромагнитной волны в ткани (А+В), можно считать, что эффективность экранирования рассчитывается как сумма абсолютных значений коэффициентов передачи и экранирования.

На рисунке 3 представлена зависимость эффективности экранирования образцов 1 и 2 в диапазоне ЭМИ от 0,7 до 17 дБ.

По рисунку 3 можно сделать вывод, что в диапазоне частот от 1 ГГц до 4 ГГц очевидно более высокая эффективность экранирования образца 2. При этом в диапазоне до 3 ГГц данная характеристика находится на уровне не ниже 15 дБ, что в среднем на 4 дБ выше по сравнению с эффективностью экранирования, определенной для образца 1.

При превышении ЭМИ более 5 ГГц существенного различия в эффективности экранирования исследуемых образцов не выявлено.

При проведении исследований высказана гипотеза, что одним из вероятных способов повышения эффективности использования текстильных экранов является создание на основе

полученных тканей многослойных пакетов, в результате чего повышается толщина экранов и массовое содержание электропроводящего компонента в 1 квадратном метре пакета. Для проверки данной гипотезы проведены сравнительные испытания двухслойных тканей. Рассмотрим частотные характеристики эффективности экранирования двухслойных пакетов, представленные на рисунке 4.

По рисунку 4 можно сделать вывод, что в диапазоне частот от 0,7 ГГц до 1,5 ГГц образцы, сложенные в 2 слоя, характеризуются приблизительно одинаковой эффективностью экранирования, составляющей в среднем 25 дБ. С увеличением частоты ЭМИ различия в эффективности экранирования становятся заметны. В диапазоне от 1,5 до 5 ГГц эффективность экранирования двухслойного пакета из образца 2 составляет не менее 25 дБ, а в диапазоне от 5 до 13 ГГц в среднем составляет 18 дБ. Для пакета из образца 1 данный показатель экранирования ниже в среднем на 6 дБ а в диапазоне от 1,5 до 13 ГГц.

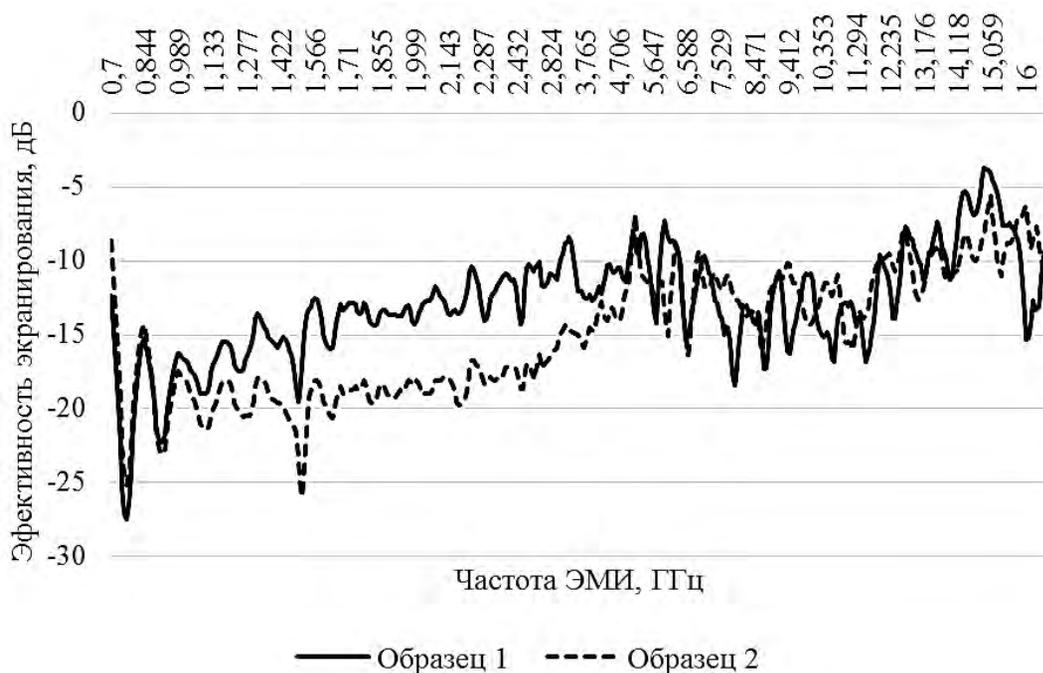


Рисунок 3 – Частотные зависимости эффективности экранирования образцов 1 и 2

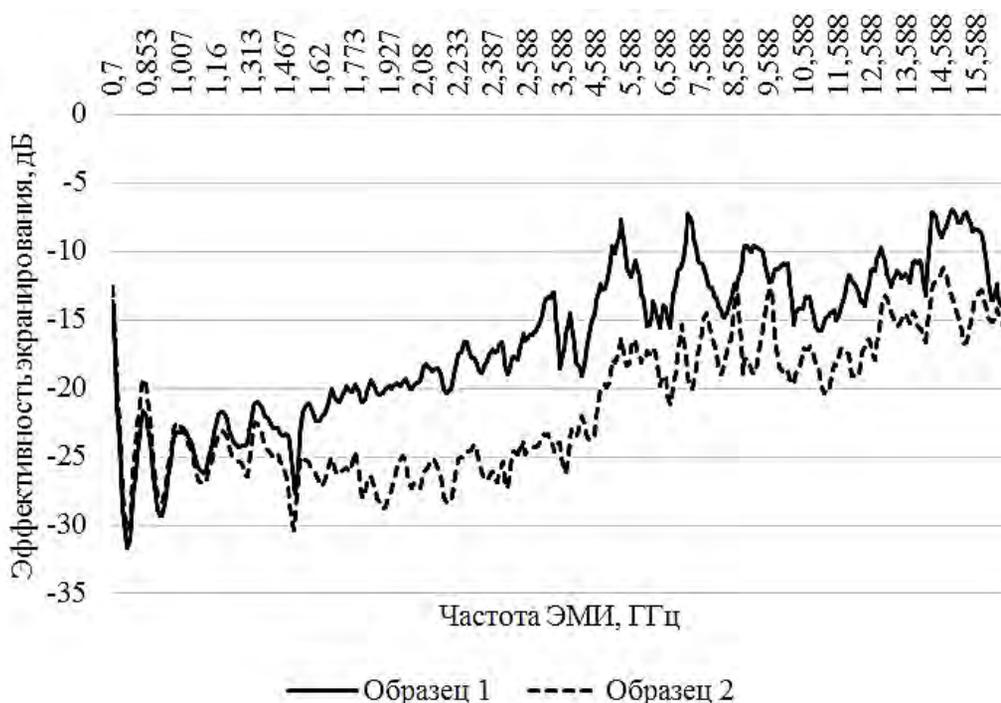


Рисунок 4 – Частотные зависимости эффективности экранирования двухслойных пакетов из образцов тканей 1 и 2

Сопоставляя частотные характеристики, представленные на рисунках 3 и 4, можно отметить, что сложение тканей в 2 слоя повысило эффективность экранирования пакета в диапазоне от 1 до 5 ГГц в среднем на 5–7 дБ. На более высоких частотах такой эффект достигнут только для образца 2, в то время как для образца 1 изменения произошли менее существенные.

Для того, чтобы оценить степень влияния толщины материала отдельно от содержания в его составе электропроводящего компонента, принято решение сравнить эффективность экранирования образца ткани 2 и двухслойного пакета, изготовленного из образца ткани 1. Согласно проведенным расчетам в обоих вариантах материалов содержание стального волокна составляет 850 мг/м². На рисунке 5 представлены частотные характеристики эффективности экранирования исследуемых вариантов материалов.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 5, можно отметить, что толщина материала оказывает существенное влияние на эффективность экранирования только в диапазоне

до 1,5 ГГц, причем с увеличением частоты с 0,8 до 2 ГГц разница в полученных значениях снижается с 8 дБ до нуля. На более высоких частотах толщина материала не оказывает видимого влияния на эффективность экранирования. С другой стороны, создание пакета тканей существенно повышает материалоемкость изделия, его массу и время на его изготовление. Следовательно, создание таких пакетов для защиты от ЭМИ при частотах свыше 1,5 ГГц является технологически нецелесообразным.

Анализ полученных данных позволил сформулировать следующие выводы и рекомендации:

- коэффициент передачи тканей, содержащих в своей структуре антистатические нити, снижается с увеличением частоты ЭМИ, а при частотах более 1 ГГц увеличивается с повышением процентного содержания стальных волокон;
- коэффициент отражения ткани, в структуре которого антистатические нити создают сетку с ячейкой 1×1 см, превышает значение 5 дБ при частоте ЭМИ более 5 ГГц, а образец с более

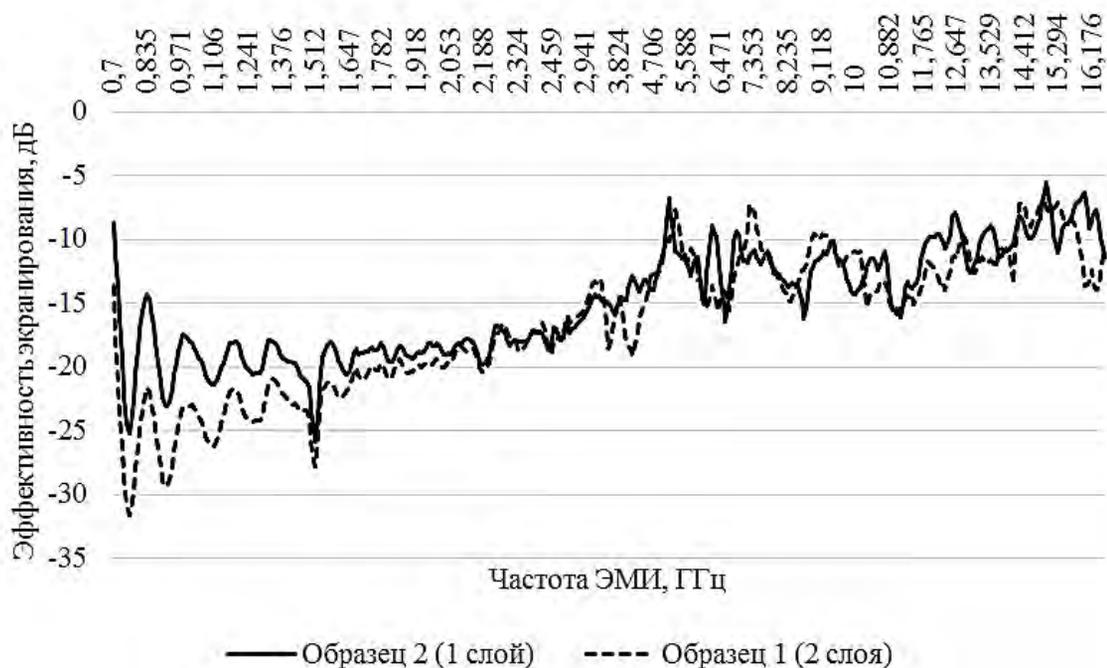


Рисунок 5 – Частотные зависимости эффективности экранирования опытных образцов тканей от количества слоев при одинаковом содержании стального волокна

плотной сеткой характеризуется меньшим значением данного показателя;

- эффективность экранирования образцов 1 и 2 уменьшается с увеличением частоты ЭМИ;
- для повышения эффективности экранирования ЭМИ в диапазоне от 0,8 до 1,5 ГГц целесообразно использовать многослойные пакеты тканей, содержащих антистатические нити, а на более высоких частотах повышение материалоемкости не является эффективным;

- при частотах ЭМИ более 1,5 ГГц повышение эффективности экранирования достигается за счет увеличения массового содержания электропроводящего компонента.

Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для экранирования ЭМИ в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михнюк, Т. Ф. (2003), Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона. Учебное пособие для студентов радиотехнических и приборостроительных специальностей дневной, вечерней и заочной форм обучения, Минск, БГУИР, 47 с.

REFERENCES

1. Mikhnyuk, T. F. (2003), Protection from electromagnetic fields of the radio frequency range [Zashchita ot elektromagnitnykh poley radiochastotnogo diapazona]. Textbook for students of radio engineering and instrument-making specialties of full-time, evening and

2. Задоя, Н. И. (2014), Электромагнитная безопасность. Учебное пособие для бакалавров направления «Электроэнергетика и электротехника», Рубцовский индустриальный институт, Рубцовск, 108 с.
3. Antistatic fibers and yarns for textiles (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 12 March 2022).
4. Рыклин, Д. Б., Кветковский, Д. И. (2021), Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 2 (41), С. 73–80.
5. Xiao, H., Tang, Z.H., Wang, Q. (2015), Research on conductive grid structure and general influence factors to shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabrics, *Textile research journal*, 2015, Vol. 36, pp. 35–42.
6. Safarova, V., Militky, J. (2014), Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers, *Textile research journal*, 2014, Vol. 84 (12), pp. 1255–1267.
7. Su, C. I., Chern, J. T. (2004), Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, *Textile research journal*, 2004, Vol. 74 (1), pp. 51–54.
8. Ortlek, H. G., Saracoglu, O. G., Saritas, O., Bilgin, S. (2012), Electromagnetic shielding characteristics of woven fabrics made of hybrid yarns containing metal wire, *Fibers and polymers*, 2012, Vol. 13 (1), pp. 63–67.
9. Liu, Z., Rong, X., Yang, Y., Wang, X.C. (2015), Influence of metal fiber content and arrangement on shielding effectiveness for blended electromagnetic shielding fabric, *Materials science (Medziagotyra)*, 2015, Vol. 21, № 2, pp. 265–270.
- correspondence forms of education, Minsk, BSUIR, 47 p.
2. Zadoya, N. I. (2014), Electromagnetic safety [Elektromagnitnaya bezopasnost']. Textbook for bachelors of the direction "Power Engineering and Electrical Engineering", Rubtsovsk Industrial Institute, Rubtsovsk, 108 p.
3. Antistatic fibers and yarns for textiles (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 12 March 2022).
4. Ryklin, D. B., Kvetkovsky, D. I. (2021), Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance [Opredeleniye vliyaniya volokon Bekinox na udel'noye poverkhnostnoye elektricheskoye soprotivleniye tkaney], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo technologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 2 (41), pp. 73–80.
5. Xiao, H., Tang, Z.H., Wang, Q. (2015), Research on conductive grid structure and general influence factors to shielding effectiveness of electromagnetic shielding fabrics, *Textile research journal*, 2015, Vol. 36, pp. 35–42.
6. Safarova, V., Militky, J. (2014), Electromagnetic shielding properties of woven fabrics made from high-performance fibers, *Textile research journal*, 2014, Vol. 84 (12), pp. 1255–1267.
7. Su, C. I., Chern, J. T. (2004), Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness, *Textile research journal*, 2004, Vol. 74 (1), pp. 51–54.
8. Ortlek, H. G., Saracoglu, O. G., Saritas, O., Bilgin, S. (2012), Electromagnetic shielding characteristics of woven fabrics made of hybrid yarns containing metal wire, *Fibers and polymers*, 2012, Vol. 13 (1), pp. 63–67.

10. Liang, R., Cheng, W., Xiao, H., Shi, M., Tang, ZH, Wang, N. (2018), A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric, *Textile Research Journal*, 2018, Vol. 88 (9), pp. 973–986.
11. Бойправ, О. В., Лыньков, Л. М., Борботько, Т. В. (2013), Информационно-измерительная система оценки влияния уровней мощности электромагнитного излучения на характеристики его ослабления защитными экранами, *Приборы и методы измерений*, 2013, № 1, С. 19–22.
12. Li, Z., Wang, Z., Lu, W., Hou, B. (2018), Theoretical study of electromagnetic interference shielding of 2D MXenes films, *Metals*, Vol. 8 (8), 652, pp. 1–8.
13. Neruda, M., Vojtech, L. (2018), Electromagnetic shielding effectiveness of woven fabrics with high electrical conductivity: complete derivation and verification of analytical model, *Materials*, Vol. 11 (9), p. 1657.
9. Liu, Z., Rong, X., Yang, Y., Wang, X.C. (2015), Influence of metal fiber content and arrangement on shielding effectiveness for blended electromagnetic shielding fabric, *Materials science (Medziagotyra)*, 2015, Vol. 21, № 2, pp. 265–270.
10. Liang, R., Cheng, W., Xiao, H., Shi, M., Tang, ZH, Wang, N. (2018), A calculating method for the electromagnetic shielding effectiveness of metal fiber blended fabric, *Textile Research Journal*, 2018, Vol. 88 (9), pp. 973–986.
11. Boiprav, O. V., Lynkov, L. M., Borbotko, T. V. (2013), Information-measuring system for assessing the influence of electromagnetic radiation power levels on the characteristics of its attenuation by protective screens [Informatsionno-izmeritel'naya sistema otsenki vliyaniya urovney moshchnosti elektromagnitnogo izlucheniya na kharakteristiki yego oslableniya zashchitnymi ekranami], *Pribory i metody izmerenij – Devices and measurement methods*, 2013, № 1, pp. 19–22.
12. Li, Z., Wang, Z., Lu, W., Hou, B. (2018), Theoretical study of electromagnetic interference shielding of 2D MXenes films, *Metals*, Vol. 8 (8), 652, pp. 1–8.
13. Neruda, M., Vojtech, L. (2018), Electromagnetic shielding effectiveness of woven fabrics with high electrical conductivity: complete derivation and verification of analytical model, *Materials*, Vol. 11 (9), p. 1657.

Статья поступила в редакцию 13. 09. 2022 г.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОАБРАЗИВНОЙ ОЧИСТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТ КОРРОЗИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ

APPLICATION OF THE TECHNOLOGY OF HYDROJET CLEANING OF METAL SURFACES FROM CORROSION TO INCREASE THE SPEED OF LASER CUTTING

УДК 62-757.73

**А.В. Филипчик^{1*}, В.С. Ковалевич², И.В. Качанов³,
И.М. Шаталов³**

¹Филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации» Государственного учреждения образования «Университет гражданской защиты» Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь

²ОАО «Белсудопроект»

³Белорусский национальный технический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-64-70>

**A. Filipchik^{1*}, V. Kovalevich², I. Kachanov³,
I. Shatalov³**

¹Institute for Retraining and Advanced Studies, Branch of the State Educational Institution University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus

²JSC Belsudoproekt

³Belarusian National Technical University

РЕФЕРАТ

ТЕХНОЛОГИЯ, ГИДРОАБРАЗИВ, ОЧИСТКА, ОБРАБОТКА, КОРРОЗИЯ, ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА, МЕТАЛЛ

Цель исследования – проведение сравнительного анализа разработанной авторами технологии гидроабразивной очистки (ГАО) и существующих технологий очистки металлических поверхностей от коррозии для подготовки изделия к лазерной резке.

В статье приводится аналитический обзор современных способов и методов очистки металлической поверхности от коррозии, а также результаты проведенных практических исследований, в ходе которых установлено, что разработанная авторами технология гидроабразивной очистки (ГАО) с использованием рабочей жидкости, в состав которой входит бентонитовая глина, в значительной степени способствует улучшению качества и скорости лазерной резки.

Так, при лазерной резке стального листа, предварительно очищенного от коррозии с использованием технологии гидроабразивной

ABSTRACT

TECHNOLOGY, HYDRO-ABRASIVE, CLEANING, WORKING, CORROSION, LASER CUTTING, METAL

The purpose of the study is to conduct a comparative analysis of the technology of hydro-abrasive cleaning (HAC) developed by the authors and existing technologies for cleaning metal surfaces from corrosion to prepare the product for laser cutting.

The article provides an analytical review of modern processes and methods for cleaning a metal surface from corrosion, as well as the results of practical studies. It was found that the technology of hydro-abrasive cleaning (HAC) helps to improve the quality and speed of laser cutting. The technology was developed by the authors using a working fluid, which includes bentonite clay.

So, during laser cutting of a steel sheet, previously cleaned of corrosion using the technology of hydro-abrasive cleaning (HAC) based on the patented composition of the working fluid (Patent 13312 of the Republic of Belarus "Method of creating a cavitating liquid jet", author – I.V. Kachanov), the cutting speed

* E-mail: filipchik.y4ndex.by@yandex.by (A. Filipchik)

очистки (ГАО) на основе запатентованного состава рабочей жидкости (патент Республики Беларусь 13312 «Способ создания кавитирующей струи жидкости», автор – И.В. Качанов), скорость резки возрастает в среднем на 10–20 % по сравнению с использованием заводской технологии дробеструйной обработки.

increases by an average of 10–20 % compared with the use of factory shot blasting technology.

ВВЕДЕНИЕ

Современное промышленное производство Республики Беларусь характеризуется рациональным использованием собственной сырьевой базы и снижением зависимости от импортных энергоносителей и материальных ресурсов, которые поставляются по мировым ценам. При работе в таких условиях эффективность производства может быть достигнута за счет использования энерго- и ресурсосберегающих технологий, например, лазерной резки, обеспечивающих получение конкурентоспособной продукции высокого качества.

Технологическая эффективность применения лазерной резки напрямую зависит от качества очистки металлических поверхностей от продуктов коррозии [1, 2]. Например, для подготовки стальной поверхности под лазерную резку (в настоящее время на промышленных предприятиях Республики Беларусь насчитывается порядка 300 комплексов, на которых разрезается ежегодно порядка 50–80 тыс. т. листовой стали) необходимо после очистки от коррозии иметь высококачественную металлическую поверхность. Для оценки качества очищенных от коррозии металлических поверхностей используют такие параметры, как шероховатости R_a и микротвердость $H_{\mu 0}$ [1].

Применяемые процессы струйной очистки металлических поверхностей от коррозии (гидродинамические, дробеструйные, пескоструйные и т.д.), реализуемые за счёт использования струй воды или воздуха высокого давления с добавками различных абразивных материалов (песок, чугунная или стальная дробь и т.д.), не отвечают в полной мере технологическим требованиям по предотвращению повторной коррозии и получению матовой поверхности с высокой коррозионной стойкостью [3].

Из процессов струйной обработки наиболее широкое распространение на машиностроительных предприятиях получила технология дробеструйной очистки металлических поверхностей от коррозии.

Основными преимуществами дробеструйных способов очистки являются: высокая производительность процесса, возможность очистки изделий сложной конфигурации, простота схемы обработки, формирование поверхности с характерной только для данного процесса топографией, образование на поверхности обработки микроуглублений, служащих для размещения смазки, предохраняющей изделие от преждевременного и интенсивного износа [1].

Однако наряду с преимуществами применения технологии дробеструйной очистки металлических поверхностей от коррозии в производственных условиях существуют факторы, которые негативно влияют на процесс очистки, например [1]:

- повышенный износ струеформирующего устройства является негативным фактором, сопутствующим дробеструйной очистке;
- шаржирование обрабатываемой поверхности элементами дроби приводит к дополнительным энергозатратам по их удалению;
- важной проблемой при дробеструйной очистке поверхности является запыленность воздуха, что требует специальных средств защиты для персонала;
- негативным моментом является отсутствие на очищенной поверхности защитного антикоррозионного покрытия, что требует значительного сокращения промежутка времени на межоперационный период из-за опасности повторного коррождения только что очищенной поверхности [1].

Одним из перспективных способов обеспечения высокого качества обработанной поверхности является технология гидроабразивной обработки, которая широко применяется при очистке металлических поверхностей от продуктов коррозии, нагара, окисных пленок.

Преимуществами способа гидроабразивной обработки металлических поверхностей являются:

- простота реализации технологии обработки в производственных условиях;
- формирование поверхности с заданными параметрами качества;
- исключение пылевыведения при обработке.

На основании проведенных экспериментальных исследований по разработке новых наукоемких, ресурсосберегающих технологий гидроабразивной обработки металлических поверхностей установлено, что большими потенциальными возможностями обладает использование бентонитовой глины, полиакриламида, кальцинированной соды (патент Республики Беларусь 13312 «Способ создания кавитирующей струи жидкости», автор – И.В. Качанов) в каче-

стве компонентов рабочей жидкости в технологии гидроабразивной обработки. Использование указанных компонентов в составе рабочей жидкости на основе воды способно привести к повышению производительности и созданию поверхностей с защитной антикоррозионной пленкой, служащей как для защиты обработанной металлической поверхности от процессов повторной коррозии в течение 1 года, так и для повышения производительности лазерной резки (ЛР).

Материалы и методы исследования

Применение технологической операции лазерной резки металлических поверхностей характеризуется рядом параметров, которые определяют производительность и качественные показатели процесса, среди них основными являются скорость лазерной резки $V_{лр}$, отсутствие (наличие) грата на вырезанных деталях [1–6].

В производственных условиях ОАО «Агат – электромеханический завод» на высокотехнологичном комплексе TRUMATIC (рисунок 1) были проведены экспериментальные исследования влияния гидроабразивной очистки металличе-



Рисунок 1 – Внешний вид комплекса лазерной резки TRUMATIC L2530:

1 – задвижная крышка; 2 – панель управления; 3 – паллета; 4 – устройство подачи листов

ских поверхностей на операцию лазерной резки.

Для оценки влияния параметров режимов ГАО на подготовку поверхности под лазерную резку были проведены производственные испытания по ЛР для трёх сравнительных групп стальных образцов:

– первую группу составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм, толщиной $S = 0,5-10$ мм, параметрами качества поверхности: шероховатостью $R_a = 30-50$ мкм, микротвердостью $H_{\mu 0} = 1800-1900$ МПа и отсутствием очистки образцов от атмосферной коррозии. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 2;

– вторую группу для сравнительных испытаний составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм и толщиной $S = 1-10$ мм, очищенные по заводской технологии (дробеструйная очистка) до

параметра шероховатости $R_a = 0,2-0,4$ мкм с микротвердостью $H_{\mu} = (1,3-1,4) H_{\mu 0}$. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 3;

– третью группу составили образцы из сталей: Ст 3пс, Ст 20, Ст 45 с линейными размерами 100x100 мм и толщиной $S = 0,5-10$ мм, очистка которых производилась по новой разработанной технологии с применением запатентованного состава (патент Республики Беларусь 13312 «Способ создания кавитирующей струи жидкости», автор – И.В. Качанов), содержащего в качестве основного компонента бентонитовую глину ($K_6 = 2-3$ %), полиакриламид ($K_n = 10^{-5}$ %), кальцинированную соду ($K_{к.с} = 2$ %), остальное – вода. Давление рабочей жидкости на входе в конфузور $p_{вх} = 30$ МПа, диаметр конфузора $d_k = 1$ мм, скорость струи $V_{стр} = 250$ м/с, расстояние до очищаемых образцов $L = 50$ мм. Обработка производилась до значений шеро-

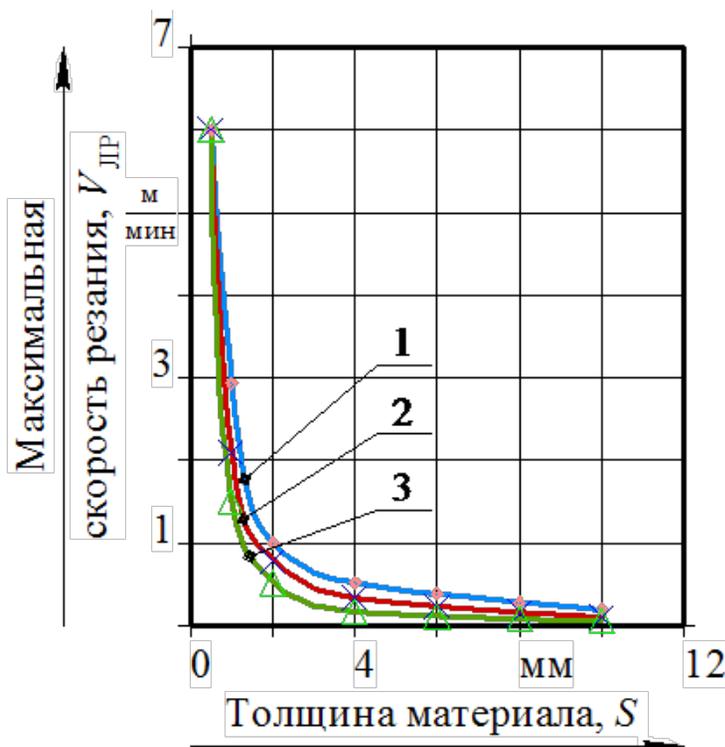


Рисунок 2 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины листа (отсутствие очистки поверхности от продуктов коррозии): 1 – Ст 3пс; 2 – Ст 20; 3 – Ст 45

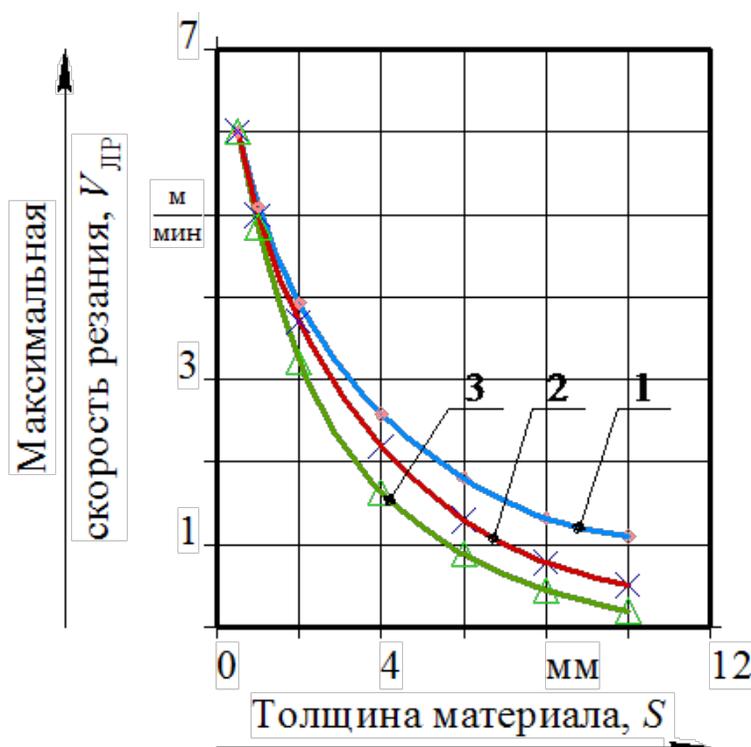


Рисунок 3 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины листа (дробеструйная обработка): 1 – Ст 3пс; 2 – Ст 20; 3 – Ст 45

ховатости $R_a = 0,2-0,4 \text{ мкм}$ и микротвердости $H_{\mu} = (1,05-1,1) H_{\mu 0}$. Результаты производственных испытаний представлены на рисунке 4.

Кривые 1, 2, 3, приведенные на рисунках 2–4, получены для стальных заготовок (1 – Ст 3пс; 2 – Ст 20; 3 – Ст 45) с толщиной листа в диапазоне значений 0,5–10 мм, при условии отсутствия грата на поверхности реза и при максимальной скорости лазерной резки. При этом для проведения испытаний использовались образцы с различным качеством поверхности по параметрам шероховатости (от $R_a = 30-50 \text{ мкм}$ до $R_a = 0,2-0,4 \text{ мкм}$) и упрочнения (от $H_{\mu 0} = 1800-1900 \text{ МПа}$ до $H_{\mu} = (1,3-1,4) H_{\mu 0}$ и $H_{\mu} = (1,05-1,1) H_{\mu 0}$).

Результаты исследования и их обсуждение

Из анализа проведенных испытаний было установлено, что для исследованных групп образцов, например из стали Ст 45 с толщиной $S = 2 \text{ мм}$, отмечалось увеличение скорости лазер-

ной резки с $0,4 \text{ м/мин}$ (резка образцов первой группы, рисунок 2) до $4,0 \text{ м/мин}$ (резка образцов третьей группы, рисунок 4). Отмеченные скорости были получены, как указывалось выше, из условия отсутствия грата на боковой поверхности реза.

При равной скорости резки ($4,5 \text{ м/мин}$) для образцов третьей группы (сталь Ст 45) грат отсутствует, в результате чего технологическая операция по зачистке грата нецелесообразна, а например, для первой группы образцов из этой же стали (рисунок 2) лазерная резка проходила с образованием грата длиной 2 мм .

При сопоставлении образцов второй и третьей группы по такому параметру, как скорость лазерной резки, видно, что применение ГАО с рабочей жидкостью на основе бентонитовой глины для предварительной очистки поверхности обеспечивает, в конечном счете, повышение скорости ЛР в среднем на 10–20 %.

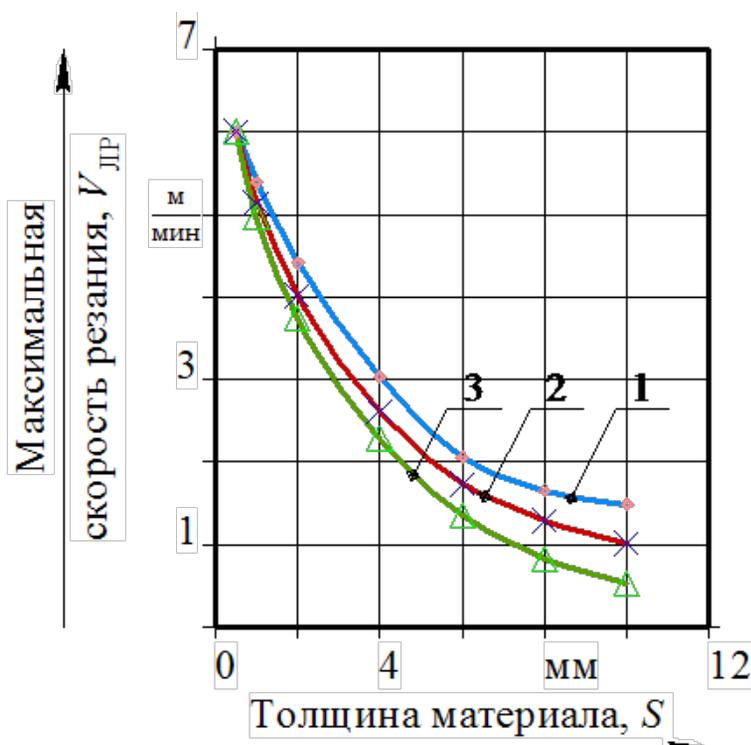


Рисунок 4 – Зависимость максимальной скорости лазерной резки от толщины материала (образец, обработанный по технологии ГАО $R_a = 0,2-0,4 \text{ мкм}$): 1 – Ст 3пс; 2 – Ст 20; 3 – Ст 45

Заключение

По результатам проведенных экспериментальных исследований разработана новая наукоемкая ресурсосберегающая технология ГАО для очистки металлических поверхностей, предназначенных под лазерную резку. Применение ГАО с рабочей жидкостью на основе бентонитовой

вой глины позволило защитить антикоррозионной пленкой длительного действия (порядка 1-го года) поверхность заготовки и в дальнейшем без предварительной обработки поверхности производить лазерную резку заготовки с повышенной скоростью до 20 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Качанов, И. В., Филипчик, А. В., Бабич, В. Е., Жук, А. Н., Ушев, С. И. (2016), *Технология струйной гидроабразивной очистки и защиты от коррозии стальных изделий с применением бентонитовой глины*, Минск, 167 с.

REFERENCES

1. Kachanov, I. V., Filipchik, A. V., Babich, V. E., Zhuk, A. N., Ushev, S. I. (2016), *Tehnologija strujnoj gidroabrazivnoj oshistki i zashhity ot korrozii stal'nyh izdelij s primeneniem bentonitovoj gliny* [Technology of water jet cleaning and corrosion protection of steel products using bentonite clay], Minsk, 167 p.

2. Жук, А. Н., Качанов, И. В., Филипчик, А. В. (2017), Технология реверсивно-струйной очистки стальных листов от коррозии перед лазерной резкой, *Наука и техника*, 2017, № 3, С. 232–241.
3. Рязанов, С. И., Псигин, Ю. В., Веткасов, Н. И. (2018), *Автоматизация производственных процессов в машиностроении (робототехника, робототехнические комплексы)*, Ульяновск, 162 с.
4. Арзамасов, Б. Н., Сидорин, И. И., Косолапов, Г. Ф., Макаров, В. И., Мухин, Г. Г., Рыжов, Н. М., Силяева, В. И., Ульянова, Н. В. (1986), *Материаловедение*, Москва, 384 с.
5. Григорьянц, А. Г., Соколов, А. А. (2021), *Лазерная резка металлов*, Москва, 128 с.
6. Шмитт-Томас, К. Г. (1995), *Металловедение для машиностроения*, Москва, 512 с.
7. Проворов, А. С., Сизых, А. Г., Сорокин, А. В. (1988), *Применение лазеров в науке, технике и технологии*, Красноярск, 84 с.
8. Коваленко, В. С. (1988), *Применение лазеров в машиностроении*, Киев, 160 с.
2. Juk, A. N., Kachanov, I. V., Filipchik, A. V. (2017), Technology of reverse jet cleaning of steel sheets from corrosion before laser cutting [Tehnologija reversivno-strujnoj ochildki stal'nyh listov ot korrozii pered lazernoj rezkoj], *Nauka i tehnika – Science and technology*, 2017, № 3, pp. 232–241.
3. Rjazanov, S. I., Psigin, Ju. V., Vetkasov, N. I. (2018), *Avtomatizacija proizvodstvennyh processov v mashinostroenii (robototehnika, robototekhnicheskie kompleksy)* [Automation of production processes in mechanical engineering (robotics, robotic complexes)], Ul'janovsk, 162 p.
4. Arzamasov, B. N., Sidorin, I. I., Kosolapov, G. F., Makarov, V. I., Muhin, G. G., Ryzhov, N. M., Siljaeva, V. I., Ul'janova, N. V. (1986), *Materialovedenie* [Materials Science], Moscow, 384 p.
5. Grigor'janc, A. G., Sokolov, A. A. (2021), *Lazernaja rezka metallov* [Laser cutting of metals], Moscow, 128 p.
6. Shmitt-Tomas, K. G. (1995), *Metallovedenie dlja mashinostroenija* [Metal science for mechanical engineering], Moscow, 512 p.
7. Provorov, A. S., Sizyh, A. G., Sorokin, A. V. (1988), *Primenenie lazerov v nauke, tehnike i tehnologii* [Application of lasers in science, engineering and technology], Krasnoyarsk, 84 p.
8. Kovalenko, V. S. (1988), *Primenenie lazerov v mashinostroenii* [The use of lasers in mechanical engineering], Kiev, 160 p.

Статья поступила в редакцию 28. 10. 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛЬНОЙ ОБУВИ К ВОЗДЕЙСТВИЮ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

STUDY OF THE RESISTANCE OF SPECIAL FOOTWEAR TO AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

УДК 685.341.4

Е.А. Шеремет*, **М.В. Шевцова**, **Л.Н. Шеверина**
Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-71-81>

E. Sheremet*, **M. Shevtsova**, **L. Sheverinova**
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ОБУВЬ, АГРЕССИВНЫЕ СРЕДЫ, СТРУКТУРА КОЖИ, СВОЙСТВА КОЖИ, МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

Предметом исследования является устойчивость специальной обуви с верхом из натуральной кожи к воздействию агрессивных сред. В работе проведены исследования влияния щелочи и кислоты на структуру и прочностные свойства обуви с верхом из натуральной кожи, эксплуатируемой на предприятиях химической отрасли. Исследования проводились с применением действующих методик, отличающихся условиями и режимами испытаний. Установлена степень влияния агрессивных сред и условий испытаний на материал верха специальной обуви. Применен микроскопический метод для исследования изменений структуры кож после воздействия агрессивных сред. Данные исследования имеют практическую значимость для предприятий обувной отрасли при формировании качества специальной обуви на предпроизводственной стадии и процедур обязательного подтверждения соответствия требованиям технических нормативных правовых актов.

ABSTRACT

SPECIAL FOOTWEAR, AGGRESSIVE ENVIRONMENTS, SKIN STRUCTURE, SKIN PROPERTIES, TEST METHODS

The subject of the study is the resistance of special shoes with genuine leather uppers to aggressive environments. The paper studies the effect of alkali and acid on the structure and strength properties of shoes with genuine leather uppers used in the chemical industry. The study was carried out using existing methods that differ in conditions and test modes. The level of influence of aggressive environments and test conditions on the material of the uppers of special footwear was determined. A microscopic method was used to study changes in the structure of skins after exposure to aggressive media. This study is of practical importance for shoe enterprises in the formation of the quality of special footwear at the pre-production stage and procedures for mandatory confirmation of compliance with the requirements of technical regulatory legal acts.

В современном мире деятельность промышленных предприятий должна быть связана с обеспечением безопасных условий труда. Поэтому на государственном уровне постоянно решаются вопросы обеспечения работников средствами индивидуальной защиты, которые должны соответствовать характеру и условиям

их работы. Согласно ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты» (далее ТР ТС 019/2011) под средством индивидуальной защиты (далее – СИЗ) понимается носимое на человеке средство индивидуального пользования для предотвращения или уменьшения воздействия на человека вредных и (или) опасных

* E-mail: scheremet.62@mail.ru (E. Sheremet)

факторов, а также для защиты от загрязнения [1].

Специальная обувь является одним из видов СИЗ. Она предназначена для защиты ног от определенных видов опасных воздействий, в том числе от химических. Обувь для защиты от химических воздействий является востребованной и применяется как средство индивидуальной защиты на предприятиях химической, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслях промышленности. Она должна защищать от действия концентрированных кислот, щелочей, органических растворителей, нефтепродуктов.

Предприятия Республики Беларусь постоянно уделяют внимание улучшению качественных характеристик специальной обуви, чему способствует внедрение новых технологий. Актуальным остается вопрос совершенствования нормативной базы в области оценки качества обуви, [2, 3]. Следует отметить, что в Республике Беларусь в 2021 году введены в действие ряд международных стандартов для специальной обуви, идентичных европейским стандартам серии EN [4–7].

Анализ литературных источников показал немногочисленность публикаций, относящихся к области исследования специальной обуви, предназначенной для защиты от химических воздействий [8–14].

Цель работы заключалась в сравнительном анализе методик испытаний специальной обуви на устойчивость к агрессивным средам, оценке результативности испытаний для совершенствования действующих методик и выработки рекомендаций при подборе материалов верха обуви на предпроизводственной стадии.

В рамках настоящей работы проводились исследования специальной обуви с верхом из натуральной кожи на устойчивость к действию кислот и щелочей с применением методик испытаний, отраженных в стандартах ГОСТ 12.4.220-2002 «Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Метод определения стойкости материалов и швов к действию агрессивных сред» [15] и ГОСТ EN 13832-2-2020 «Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная для защиты от химических веществ. Часть 2. Требования к обуви, устойчивой к ограниченному контакту с химическими веществами» [5].

Важным показателем качества верха обу-

ви специального назначения, эксплуатируемой в условиях агрессивных сред и нормируемым ТР ТС 019/2011, является прочность ниточных креплений деталей верха, методика определения которого представлена в ГОСТ 12.4.165-2019 «ССТБ. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь специальная с верхом из кожи. Метод определения коэффициента снижения прочности крепления от воздействия агрессивных сред» [16]. Данный показатель являлся предметом ранее проведенных исследований [17].

В настоящих исследованиях представляет практический интерес установление влияния кислоты и щелочи непосредственно на материал верха обуви. В исследуемых образцах обуви литьевого метода крепления на подошве из полиуретана, изготовленных по ГОСТ 12.4.137-2001 «Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия» [18], в качестве наружных материалов использовалась юфта обувная (сапоги), а верх ботинок представлял собой комбинацию юфти и кожи хромовой из шкур крупного рогатого скота (деталь мягкого канта, глухой клапан). В качестве материала подкладки производитель применил нетканое полотно, а в качестве межподкладки – нетканое полотно с термopокpытием.

Перед испытанием из обуви вырезали образцы, а затем подвергали их воздействию в течение $4,0 \pm 0,1$ ч при температуре 20 ± 3 °С, как требуют того стандартные условия испытаний по ГОСТ 12.4.220-2002 [14], следующих агрессивных сред – 20 % H_2SO_4 и 20 % $NaOH$. Затем образцы промывали дистиллированной водой, и излишки жидкости удаляли с поверхности образцов фильтровальной бумагой.

На фильтровальной бумаге оставался красящий пигмент, выделившийся из образцов, подвергнутых воздействию щелочи (рисунок 1 б). Кроме того они приобрели значительную жесткость. Из образцов, которые подвергались воздействию кислоты, красящий пигмент не выделился (рисунок 1 а). Однако в таких образцах при дальнейшем исследовании на разрывной машине на растяжение в местах зажимов наблюдалась «теклость» покрытия, что позволило судить об имеющем место негативном воздей-

ствии данной агрессивной среды на покрытие и ослабление связи отделочного покрытия с кожей.

Помимо внешних проявлений воздействий агрессивных сред, наблюдалась потеря прочности самих образцов кожи. Результаты испытаний образцов на растяжение, проведенные по ГОСТ 938.11-69 «Кожа. Метод испытания на растяжение» [19], представлены в таблице 1.

По данным таблицы 1 видно, что наблюдалось значительное снижение прочности кожи после воздействия кислоты (падение прочности

происходило на 48 %). После воздействия щелочи снижение прочности произошло на меньшую величину (на 30 %).

Следует отметить, что изменение вышеуказанного показателя не нормируется техническими нормативными правовыми актами на специальную обувь, но позволяет судить о поведении материала верха при эксплуатации обуви при контакте с агрессивной средой.

С целью установления отличий в структуре кож различных образцов в зависимости от применяемой агрессивной среды было проведе-

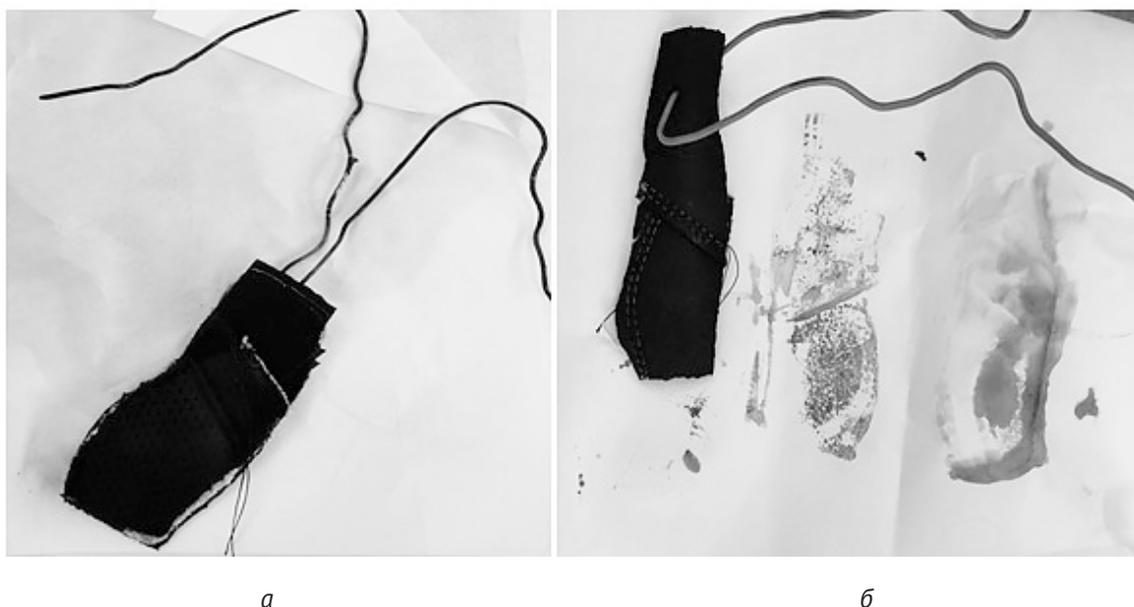


Рисунок 1 – Внешний вид образцов после воздействия кислоты и щелочи: а – после воздействия кислоты; б – после воздействия щелочи

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов при растяжении (средние значения)

Вид агрессивной среды	Предел прочности при растяжении, МПа	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %
Контрольные образцы	19,75	11,93	12
Образцы после воздействия кислоты	10,20	1,34	13
Образцы после воздействия щелочи	15,75	7,92	14

но микроскопическое исследование структуры образцов кожи с использованием микроскопа стереоскопического «BS – 3040 Bestscope зум стерео» (рисунок 2).

Из рисунка 2 видно, что под действием кислоты и щелочи изменилась структура кожи. Под воздействием кислоты она стала более рыхлой, что повлияло на ее прочность, а после обработки образцов кожи щелочью, они заметно «стянулись» и стали более жесткими.

Следует отметить, что на производстве, где используется специальная обувь данного назначения, не наблюдается прямого четырехчасового воздействия агрессивных сред, как этого тре-

бует методика проведения испытаний по ГОСТ 12.4.102-80 «Система стандартов безопасности труда. Материалы для верха специальной обуви. Метод определения проницаемости жидкими агрессивными веществами» [20]. Поэтому в недавно вступившим в силу ГОСТ EN 13832-1-2020 [4] это было принято во внимание. Данным стандартом предусмотрены более мягкие режимы проведения испытаний, не требующие полного погружения обуви в агрессивную жидкость (испытание на выплеск). В соответствии с этим нормативным документом, выплеск – это воздействие химических веществ на обувь при ограниченном контакте.

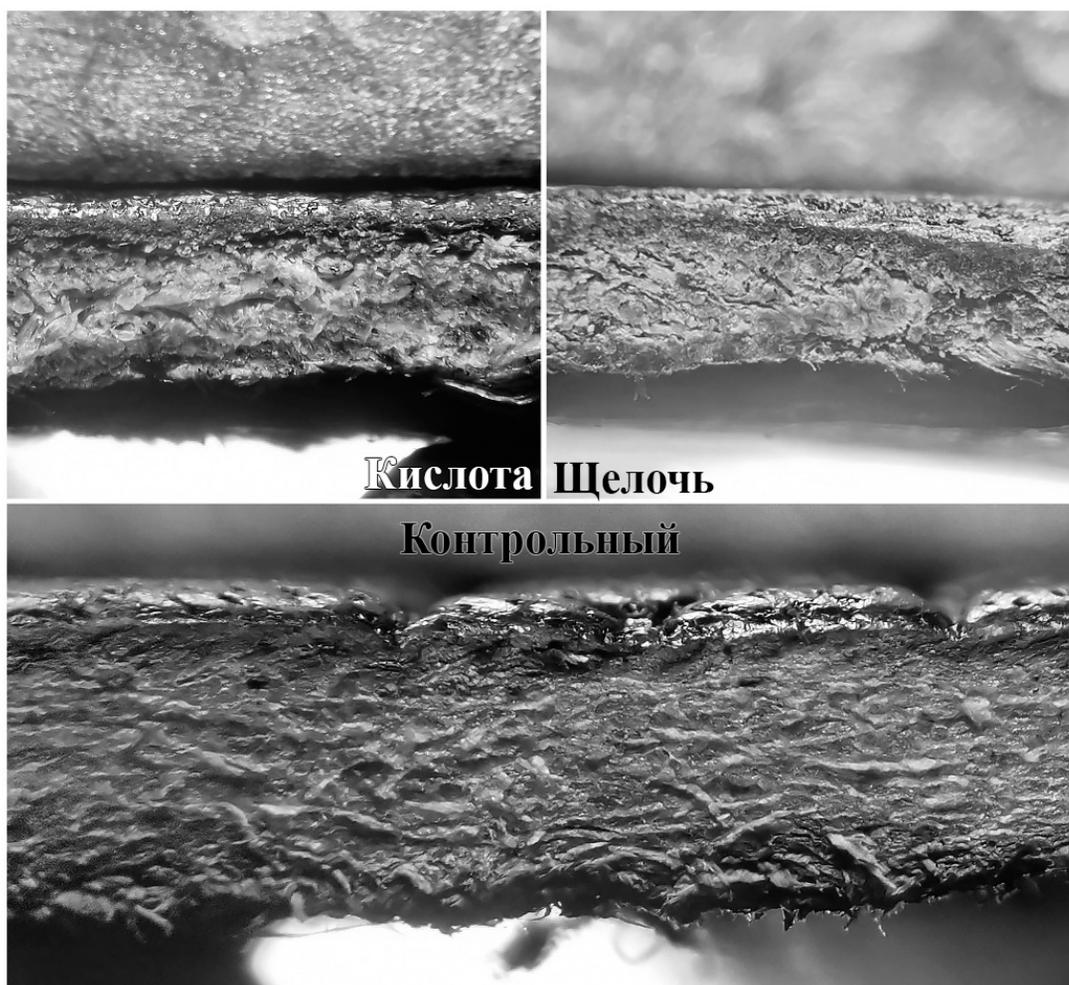


Рисунок 2 – Срезы образцов кож

До проведения испытания на выплеск обувь заполняли абсорбирующей бумагой в целях возможного обнаружения проникания жидкостей внутрь. При непосредственном проведении испытания обувь наклоняли под углом $(45 \pm 10)^\circ$ и выливали агрессивное вещество на ее боковые стороны и носочную часть. Расстояние от точки выплеска до наружной поверхности образца составляло от 4 см до 6 см. До завершения осмотра обуви жидкость оставалась в контакте с подо-

швой, как этого требует стандарт (рисунок 3).

Образец выдерживали в течение $10 \text{ мин} \pm 30 \text{ с}$. Абсорбирующую бумагу извлекали из обуви и, если жидкость проникала внутрь и заметны ее следы, отмечали точки проникания. Через $1 \text{ ч} \pm 2 \text{ мин}$ после выплеска проводили визуальный осмотр пары обуви для сравнения с обувью в первоначальном состоянии (с фотографией) и фиксировали любые повреждения или визуально заметные изменения:



Образец 1 – сапоги



Образец 2 – ботинки

Рисунок 3 – Испытания на выплеск сапог (образец 1) и ботинок (образец 2) 20%-й H_2SO_4 и 20%-й NaOH

- деформация и прожигание материала;
- оплавления;
- образование пузырей;
- разошедшиеся швы;
- отрыв обуви/подошвы;
- трещины на материале верха или подошве.

Согласно ГОСТ 12.4.102-80 [20], если зафиксировано наличие хотя бы одного из данных повреждений, то испытания обуви расцениваются как «отрицательные». Особенно тщательно необходимо проверять зону с ограниченным обзором, располагающуюся под шнуровкой или застежкой, где возможно накопление вещества.

Через 24 ч ± 30 мин после выплеска проводили повторный визуальный осмотр пары обуви для сравнения с обувью в первоначальном состоянии (с фотографией) и фиксировали любые повреждения или визуально заметные изменения, указанные выше.

Следует указать, что согласно ГОСТ EN 13832-1-2020 [4] в качестве воздействующей на обувь среды должна быть 96%-я серная кислота. Однако, в исследованиях помимо 96%-й серной кислоты, дополнительно были использованы 20 % H_2SO_4 и 20 % $NaOH$ (согласно ГОСТ 12.4.102-

80).

Необходимо отметить, что непосредственно в момент выплеска химических веществ видимых изменений на образцах обуви не наблюдалось. Спустя 10 минут на абсорбирующей бумаге, находившейся внутри ботинок (образец 2), были обнаружены следы проникновения 20%-й H_2SO_4 . Проникновение происходило в тех зонах конструкции ботинок, где применялась в качестве материала верха не юфта, а кожа крупного рогатого скота. По истечении 24 часов произошло разрушение мереи кожи, лицевого покрытия, проявившихся в виде пятен на их наружной поверхности. Аналогичные проявления повреждений кожи были обнаружены и в сапогах из юфти, но проникновение кислоты внутрь не произошло (рисунок 4).

Концентрированная кислота (96%-я H_2SO_4) мгновенно начала разрушать и мерею обуви и оказала воздействие на подошву, оставив заметные серого цвета полосы. Через 10 минут было зафиксировано не только попадание ее внутрь ботинок, но и разрушение шнурков. Внутри сапог концентрированная кислота через материал верха не проникла, однако сильно повредила

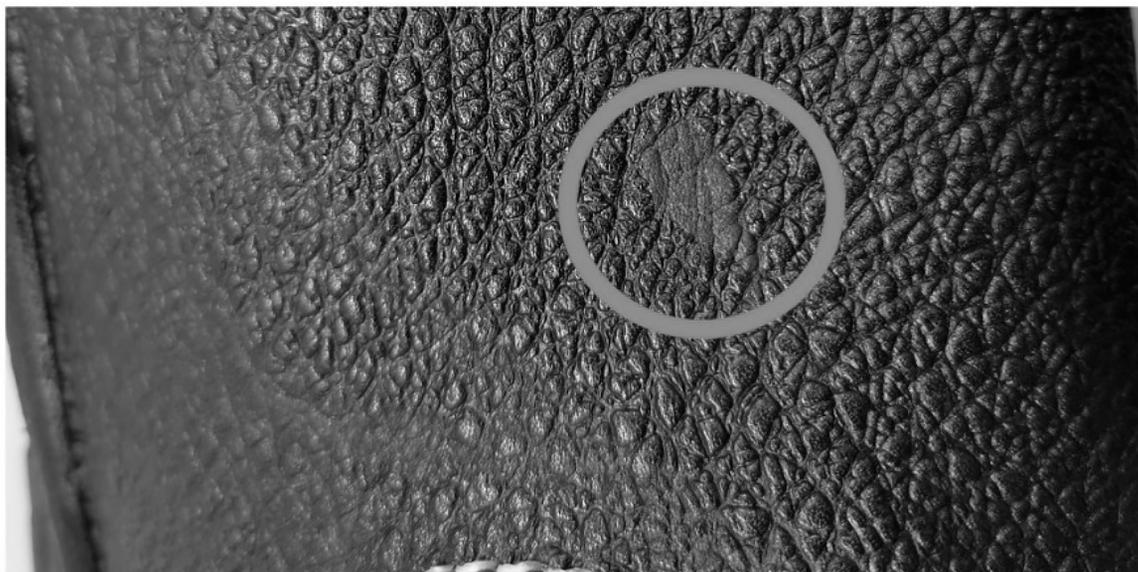


Рисунок 4 – Оценка результатов после испытаний на выплеск сапог (образец 1) 20%-й H_2SO_4

поверхность обуви (сглаживание мери и ее оплавление) и подошву (рисунок 5 а). Спустя 24 часа было обнаружено полное разрушение ниточных швов в сапогах в местах попадания кислоты (рисунок 5 б). Кроме того, выделился черный пигмент, который даже при контакте с исследовательским оборудованием окрашивал его.

После воздействия выплеска 96% H_2SO_4 была рассмотрена микроскопия среза образца, которая представлена на рисунке 6.

Следует отметить, что кислота прошла сквозь лицевой слой кожи и затронула структуру дермы. Щелочь (20 % $NaOH$) не повлияла на внешний вид обоих образцов и внутрь не проникла.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы и рекомендации:

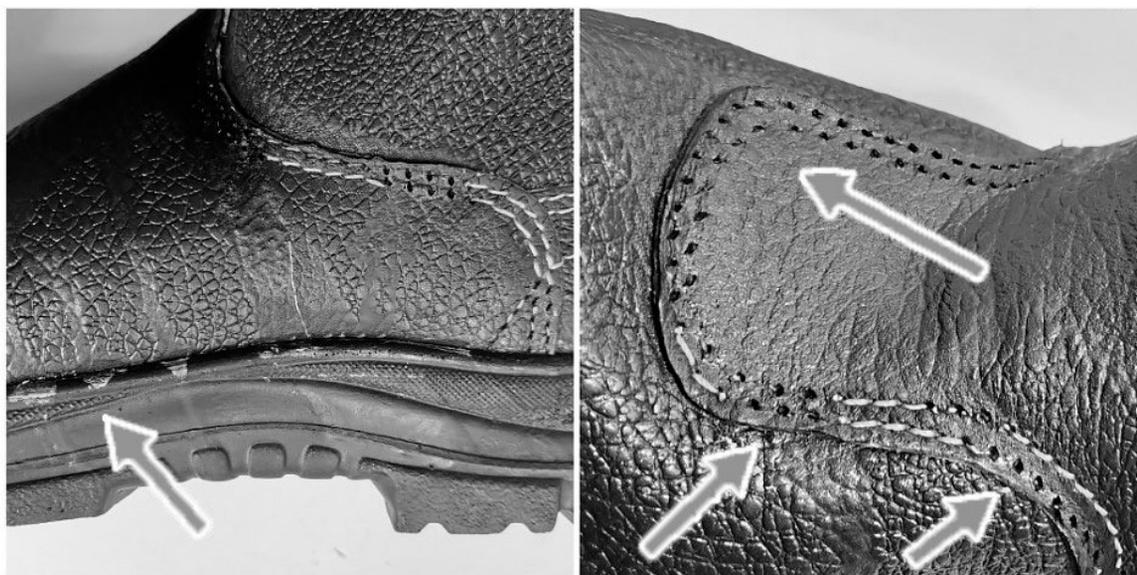
- в производственных условиях эксплуатации не наблюдается многочасовой контакт обуви с агрессивной средой, что не позволяет считать результаты исследований по ГОСТ 12.4.102-80 соответствующими реальности;

- метод испытаний на однократный выплеск не дает полного представления о воздействии агрессивного вещества на обувь, поэтому целесообразно проводить воздействие выплеском на обувь не единожды, а в несколько циклов;

- применение 96%-й серной кислоты является жестким условием проведения испытаний и редко встречается в реальных условиях производства;

- 20%-я щелочь не является столь агрессивной средой, которая при выплеске оказывает существенное влияние на структуру материала верха;

- проведение испытаний по ГОСТ EN 13832-2-2020, где в качестве агрессивной среды применяется 96%-я серная кислота, ставит под сомнение возможность применения в специальной обуви в качестве материала верха кожу крупного рогатого скота, которую рекомендует ГОСТ 12.4.137-2001.



а

б

Рисунок 5 – Результаты воздействий после испытаний на выплеск 96%-й H_2SO_4 : а – результаты воздействия на подошву; б – результаты воздействия на швы



Рисунок 6 – Микроскопия образца в месте воздействия выплеска 96%-й H_2SO_4

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технический Регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011 (2011), *О безопасности средств индивидуальной защиты*. Введ. 2012-06-01, 76 с.
2. Шеремет, Е. А., Шеверинова, Л. Н., Букштан, В. А. (2019), Особенности оценки качества обуви специальной для защиты от химических воздействий, *Материалы докладов 52-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, УО «ВГТУ», 2019, Т. 2, С. 252–254.
3. Соболевская, О. М., Шеремет, Е. А., Шеверинова, Л. Н. (2021), Новые подходы к оценке качества специальной обуви с верхом из натуральных кож, *Материалы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, УО «ВГТУ», 2021, Т. 2, С. 180–182.

REFERENCES

1. Technical Regulations of the Customs Union TR TS 019/2011 (2011), *On the safety of personal protective equipment*. Introduction 2012-06-01, 76 p.
2. Sheremet, E. A., Sheverinova, L. N., Bukshtan, V. A. (2019), Features of assessing the quality of special shoes for protection from chemical influences [Osobennosti ocenki kachestva obuvi special'noj dlja zashhity ot himicheskikh vozdeystvij], *Materials of the reports of the 52 International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk, UO «VSTU», 2019, Vol. 2, pp. 252–254.
3. Sobolevskaya, O. M., Sheremet, E. A., Sheverinova, L. N. (2021), New approaches to assessing the quality of special shoes with natural leather uppers [Novye podhody k ocenke kachestva special'noj obuvi s verhom iz natural'nyh kozh],

4. ГОСТ EN 13832-1-2020 (2020), Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная для защиты от химических веществ. Часть 1. Методы испытаний. Введ. 2021-11-01, Минск, Госстандарт, 2020, 20 с.
5. ГОСТ EN 13832-2-2020 (2020), Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная для защиты от химических веществ. Часть 2. Требования к обуви, устойчивой к ограниченному контакту с химическими веществами. Введ. 2021-11-01, Минск, Госстандарт, 2020, 24 с.
6. ГОСТ EN 13832-3-2020 (2020), Система стандартов безопасности труда. Обувь специальная для защиты от химических веществ. Часть 3. Требования к обуви, устойчивой к длительному контакту с химическими веществами. Введ. 2021-12-01, Минск, Госстандарт, 2020, 24 с.
7. ГОСТ EN 16523-1-2020 (2020), Система стандартов безопасности труда. Определение стойкости материалов к проникновению химических веществ. Часть 1. Проникновение потенциально опасных жидких химических веществ при непрерывном контакте. Введ. 2021-12-01, Минск, Госстандарт, 2020, 28 с.
8. Бринк, И. Ю., Каплиева, О. А., Леденева, И. Н. (2008), Метод оценки и исследование теплоизоляционных свойств спецобуви, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2008, № 4, С. 40–41.
9. Белицкая, О. А. (2019), Анализ перспективности разработки обуви со специальными защитными свойствами, *Сборник научных трудов «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления» Международного научно-технического симпозиума, Международного Косыгинского Форума*, Москва, 2019, С. 25–29.
10. Можегов, А. С., Добрикова, М. А. (2018), Анализ соблюдения требований технического регла-
Materials of the reports of the 54 International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, Vitebsk, UO «VSTU», 2021, Vol. 2, pp. 180–182.
4. GOST EN 13832-1-2020 (2020), *System of labor safety standards. Footwear special for protection against chemicals. Part 1. Test methods*. Introduction 2021-11-01, Minsk, Gosstandart, 2020, 20 p.
5. GOST EN 13832-2-2020 (2020), *System of labor safety standards. Footwear special for protection against chemicals. Part 2: Requirements for footwear resistant to limited contact with chemicals*. Introduction 2021-11-01, Minsk, Gosstandart, 2020, 24 p.
6. GOST EN 13832-3-2020 (2020), *System of labor safety standards. Footwear special for protection against chemicals. Part 3: Requirements for footwear resistant to prolonged contact with chemicals*. Introduction 2021-12-01, Minsk, Gosstandart, 2020, 24 p.
7. GOST EN 16523-1-2020 (2020), *System of labor safety standards. Determination of the resistance of materials to the penetration of chemicals. Part 1: Penetration of potentially hazardous liquid chemicals through continuous contact*. Introduction 2021-12-01, Minsk, Gosstandart, 2020, 28 p.
8. Brink, I. Yu., Kaplieva, O. A., Ledeneva, I. N. (2008), Method of evaluation and study of thermal insulation properties of special footwear [Metod ocenki i issledovanie teploizoljacionnyh svojstv specobuvi], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost' – Leather and shoe industry*, 2008, № 4, pp. 40–41.
9. Belitskaya, O. A. (2019), Analysis of the prospects for the development of shoes with special protective properties [Analiz perspektivnosti razrabotki obuvi so special'nymi zashhitnymi svojstvami], *Collection of scientific papers «Modern engineering problems in the production of consumer goods» of the International Scientific*

- мента при изготовлении специальной обуви, *Вестник молодых ученых Санкт-петербургского государственного университета технологии и дизайна*, 2018, № 3, С. 466–473.
11. Махоткина, Л. Ю., Жуковская, Т. В., Галялутдинова, Р. М., Рахимова, Г. И. (2015), Современная специальная нефтезащитная обувь и полимерные материалы, применяемые для ее изготовления, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2015, № 7 (18), С. 173–175.
 12. Фокина, А. А., Соколовский, А. Р., Рыкова, Е. С., Белицкая, О. А. (2020), Оценка показателей качества обуви специального назначения, *Оригинальные исследования*, Москва, 2020, Т. 10, № 9, С. 62–77.
 13. Исамадиева, Г. Е. (2022), Риск-ориентированный подход и обеспечение средствами индивидуальной защиты от вредных химических факторов на предприятиях Казахстана, *Науко-сфера*, 2022, № 8-2, С. 21–30.
 14. Соболевская, О. М., Шеремет, Е. А., Шеверина, Л. Н. (2021), Исследование прочности ниточных соединений кожаной специальной обуви при воздействии химических веществ, *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених «Молодь – науці і виробництву – 2021: Інноваційні технології легкої промисловості»*, Херсон, 2021, С. 159–160.
 15. ГОСТ 12.4.220-2002 (2002), *Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты. Метод определения стойкости материалов и швов к действию агрессивных сред*. Введ. 2003-07-01, Москва, Изд-во стандартов, 2002, 20 с.
 16. ГОСТ 12.4.165-2019 (2019), *Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты ног. Обувь специальная с верхом из кожи. Метод определения коэффициента снижения прочности крепления от* *and Technical Symposium, International Kosygin'sky Forum*, Moscow, 2019, pp. 25–29.
 10. Mozhegov, A. S., Dobrikova, M. A. (2018), Analysis of compliance with the requirements of technical regulations in the manufacture of special shoes [Analiz sobljudenija trebovanij tehničkog reglamenta pri izgotovlenii special'noj obuvi], *Vestnik molodyh uchenyh Sankt-peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna – Vestnik of Young Scientists of the St. Petersburg State University of Technology and Design*, 2018, № 3, pp. 466–473.
 11. Makhotkina, L. Yu., Zhukovskaya, T. V., Galyalutdinova, R. M., Rakhimova, G. I. (2015), Modern special oil-resistant footwear and polymer materials used for its manufacture [Sovremennaja special'naja neftezashhitnaja obuv' i polimernye materialy, primenjaemye dlja ee izgotovlenija], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologičeskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2015, № 7 (18), pp. 173–175.
 12. Fokina, A. A., Sokolovsky, A. R., Rykova, E. S., Belitskaya, O. A. (2020), Assessment of quality indicators of special purpose shoes [Ocenka pokazatelej kachestva obuvi special'nogo naznachenija], *Original research*, Moscow, 2020, Vol. 10, № 9, pp. 62–77.
 13. Imamadiyeva, G. E. (2022), Risk-oriented approach and provision of means of individual protection against harmful chemical factors in enterprises of Kazakhstan [Risk-orientirovannyj podhod i obespechenie sredstvami individual'noj zashhity ot vrednyh himičeskikh faktorov na predpriyatijah Kazahstana], *Naukosphere Publ.*, 2022, № 8-2, pp. 21–30.
 14. Sobolevskaya, O. M., Sheremet, E. A., Sheverina, L. N. (2021), Investigation of the strength of thread connections of leather special shoes under chemical exposure [Issledovanie prochnosti nitoch-nyh soedinenij kozhanoj special'noj obuvi pri vozdejstvii himičeskikh veshhestv]

- воздействия агрессивных сред. Введ. 2021-05-01, Москва, Стандартинформ, 2019, 12 с.*
17. Ухина, Е. Г., Шеремет, Е. А., Шеверинова, Л. Н. (2011), Исследование влияния агрессивных сред на прочность ниточных швов верха обуви, *Материалы докладов 44 научно-технической конференции преподавателей и студентов университета, Витебск, УО «ВГТУ», 2011, С. 214–216.*
 18. ГОСТ 12.4.137-2001 (2001), *Обувь специальная с верхом из кожи для защиты от нефти, нефтепродуктов, кислот, щелочей, нетоксичной и взрывоопасной пыли. Технические условия. Введ. 2005-07-01, Минск, Госстандарт, 2005, 36 с.*
 19. ГОСТ 938.11-69 (1969), *Кожа. Метод испытания на растяжение. Введ. 1970-01-01, Москва, Изд-во стандартов, 1969, 12 с.*
 20. ГОСТ 12.4.102-80 (1980), *Система стандартов безопасности труда. Материалы для верха специальной обуви. Метод определения проницаемости жидкими агрессивными веществами. Введ. 1982-01-01, Москва, Изд-во стандартов, 1980, 8 с.*
 - Proceedings of the international scientific and Practical Conference of higher education applicants and young scientists «Youth – Science and production – 2021: innovative technologies of light industry», Kherson, 2021, pp. 159–160.*
 15. ГОСТ 12.4.220-2002 (2002), *System of labor safety standards. Individual protection means. Method for determining the resistance of materials and seams to the action of aggressive media. Introduction 2003-07-01, Moscow, Publishing House of Standards, 2002, 20 p.*
 16. ГОСТ 12.4.165-2019 (2019), *System of labor safety standards. Personal protective equipment for legs. Special shoes with leather uppers. Method for determining the coefficient of reduction in fastening strength from exposure to aggressive media. Introduction 2021-05-01, Moscow, Standartinform, 2019, 12 p.*
 17. Ukhina, E. G., Sheremet, E. A., Sheverinova, L. N. (2011), *Issledovanie vlijaniya agressivnyh sred na prochnost' nitochnyh shvov verha obuvi [Investigation of the influence of aggressive media on the strength of the thread seams of the shoe top], Proceedings of the 44 scientific and technical conference of University teachers and students, Vitebsk, UO «VSTU», 2011, pp. 214–216.*
 18. ГОСТ 12.4.137-2001 (2001), *Special shoes with leather uppers to protect against oil, petroleum products, acids, alkalis, non-toxic and explosive dust. Technical conditions. Introduction 2005-07-01, Minsk, Gosstandart, 2005, 36 p.*
 19. ГОСТ 938.11-69 (1969), *Leather. Tensile test method. Introduction 1970-01-01, Moscow, Publishing House of Standards, 1969, 12 p.*
 20. ГОСТ 12.4.102-80 (1980), *System of labor safety standards. Materials for the top of special shoes. Method for determining the permeability of liquid aggressive substances. Introduction 1982-01-01, Moscow, Publishing House of Standards, 1980, 8 p.*

Статья поступила в редакцию 08. 11. 2022 г.

СТРУКТУРНО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И СВОЙСТВА ВОЛОКОН, ФОРМУЕМЫХ НА ОСНОВЕ ПОЛИ[АКРИЛОНИТРИЛ-СО-МЕТИЛАКРИЛАТ-СО-ИТАКОНОВОЙ КИСЛОТЫ] ПО ДИМЕТИЛФОРМАМИДНОМУ СПОСОБУ

STRUCTURAL AND MORPHOLOGICAL FEATURES AND PROPERTIES OF FIBERS, FORMED ON THE BASIS OF POLY[ACRYLONITRILE-CO-METHYLACRYLATE-CO-ITACONIC ACID] BY THE DIMETHYLFORMAMIDE METHOD

УДК 677.494.745.32

**И.С. Городнякова, Н.В. Пчелова, И.А. Будкоте*,
Л.А. Щербина**

*Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-82-93>

**I. Haradniakova, N. Pchelova, I. Budkote*,
L. Shcherbina**

*Belarussian State University of Food and Chemical
Technologies*

РЕФЕРАТ

ТЕРСОПОЛИМЕР, АКРИЛОНИТРИЛ, МЕТИЛАКРИЛАТ, ИТАКОНОВАЯ КИСЛОТА, ДИМЕТИЛФОРМАМИД, ФОРМОВАНИЕ

Предметом исследования явились структурно-морфологические особенности и свойства полиакрилонитрильных волокон, полученных по диметилформамидному методу. С этой целью на основе промышленного терсополимера акрилонитрила, метилакрилата, итаконовой кислоты на лабораторной стендовой установке сформованы волокна в различных по составу водно-диметилформамидных осадительных ваннах с использованием фильер с круглыми отверстиями. Оценена прядомость концентрированного раствора терсополимера в диметилформамиде. Проведено микроскопирование полученных модельных образцов и показано влияние состава и температуры осадительной ванны на однородность структуры и форму поперечного сечения волокон. Отмечено влияние концентрации и температуры осадительной ванны на деформируемость струи прядильного раствора и значение максимальной кратности пластификационной вытяжки гель-волокон в водной среде при

ABSTRACT

TERCOPOLYMER, ACRYLONITRILE, METHYLACRYLATE, ITACONIC ACID, DIMETHYLFORMAMIDE, SPINNING

The subject of the study was the structural and morphological features and mechanical properties of polyacrylonitrile fibers obtained by the dimethylformamide method. For this purpose, on the basis of an industrial tercopolymer of acrylonitrile, methyl acrylate, and itaconic acid, fibers were formed on a laboratory bench installation in water-dimethylformamide precipitation baths of various composition using spinnerets with round holes. The spinnability of a concentrated solution of a tercopolymer in dimethylformamide was evaluated. Microscopic examination of the resulted model samples was carried out and the influence of the composition and temperature of the precipitation bath on the uniformity of the structure and the shape of the cross section of the fibers was shown. The influence of the concentration and temperature of the precipitation bath on the deformability of the spinning solution jet and the value of the maximum multiplicity of the plasticization drawing of gel fibers in an aqueous medium at a temperature of 95.5 °C was noted. The physical

* E-mail: budkote@yandex.ru (I. Budkote)

температуре 95,5 °С. Изучены физико-механические показатели модельных полиакрилонитрильных волокон, полученных в различных условиях, и установлено влияние состава и температуры осадительной ванны на их удельную разрывную нагрузку, удлинение при разрыве, работоспособность и усадку. Показана принципиальная осуществимость процесса получения волокон по диметилформамидному методу на основе волокнообразующего терсополимера акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты.

and mechanical properties of model polyacrylonitrile fibers produced under various conditions were studied, and the influence of the composition and temperature of the precipitation bath on their specific breaking load, elongation at break, performance and shrinkage was determined. The principal possibility of the process of obtaining fibers by the dimethylformamide method based on a fiber-forming tercopolymer of acrylonitrile, methyl acrylate, and itaconic acid was shown.

ВВЕДЕНИЕ

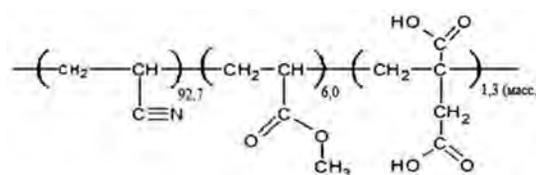
Одним из важных свойств полиакрилонитрильных (ПАН) волокон текстильного назначения является их способность окрашиваться катионными красителями. Известно, что в зависимости от композиционного состава волокнообразующего сополимера и способа формования получают ПАН волокна с различными свойствами и особенностями в отношении окрашивания различными классами красителей. Наиболее многочисленную группу среди ПАН волокон представляют волокна на основе терсополимеров акрилонитрила (АН), содержащих кислотные сомомеры (итаконовую кислоту (ИтК), 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоту (АМПС), акриловую кислоту и др.). Эти волокна отличаются повышенным сродством к основным красителям. Несмотря на значимость того факта, что растворитель и первичная структура волокнообразующего сополимера могут оказывать существенное влияние на формирование структуры и профиля формируемых волокон, в открытом доступе практически отсутствует информация о том, какие изменения структурно-морфологических свойств волокон будут наблюдаться при замене одного кислотного сомомера на другой.

С целью расширения ассортимента волокнистых материалов текстильного и специального назначения, а также с целью разработки путей повышения экономической эффективности и сырьевой «независимости» завод «Полимир» ОАО «Нафтан» рассматривает вопрос о возможности замены АМПС на ИтК при производстве волокна марки нитрон Д по диметилформамидному методу. В настоящее время реализованный на

данном предприятии технологический процесс производства ПАН волокна на основе сополимера АН, метилакрилата (МА) и АМПС предусматривает использование в качестве растворителя диметилформаида (ДМФ). Анализ имеющейся в открытом доступе научно-технической информации не позволил обнаружить материалы, необходимые для организации технологического процесса производства волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] по диметилформамидному методу, и ответа на вопрос, какие режимы необходимы для формования таких волокнистых материалов и каковы их свойства.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования явились сформованные по диметилформамидному способу в лабораторных условиях волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]:



Предмет исследования – структурно-морфологические и физико-механические свойства сформованных волокон.

Методики исследований

Схема и порядок работы на лабораторной стендовой установке для получения волокон мокрым способом изложены [1–5]. При формировании модельных образцов ПАН гель-волокон варьировали содержание ДМФ в осадительной ванне и ее температуру.

Для проведения работы был приготовлен прядильный раствор в ДМФ, который гомогенизировали, фильтровали и обезвоздушивали. Формование модельных образцов полиакрилонитрильных (ПАН) волокон из прядильных растворов осуществляли «мокрым» методом с использованием лабораторной стендовой установки [1] в соответствии с основными технологическими режимами, представленными в таблице 1.

Полученные при различных режимах ПАН гель-волокна промывали на перфорированной бобине периодическим способом при комнатной температуре и гидромодуле ванны не менее 100. Количество промывок составляло не менее 5. Каждая промывка длилась не менее 1 ч. Промывку вели до остаточного содержания ДМФ в волокне не более 0,1 % (масс.). Остаточное содержание растворителя в гель-волокне оценивали путем экстракции из него ДМФ в кипящей воде [6] и последующим его определением по методу Кьельдаля [7].

Для количественной оценки прядомости было использовано значение максимальной скорости формования (приема волокна из осадительной ванны), характеризующей способность формирующейся структуры гель-волокна к деформации. Для оценки влияния температуры и состава осадительной ванны на особенности структурообразования в струе прядильной жидкости проводили микроскопирование волокон с использованием микроскопа Nikon Eclipse E200. Определение линейной плотности, удельной разрывной нагрузки и удлинения при разрыве экспериментальных образцов ПАН волокон

проводили в аккредитованной лаборатории отдела технического контроля производства синтетического волокна ОАО «Могилевхимволокно» на приборе «Vibroscoп/Vibrodyn 400» ф. «LenzingInstruments» в соответствии с ГОСТ 10213.2-2002. Определение усадки проводили согласно ГОСТ 13481-2001.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Результаты микроскопирования волокон на основе промышленного поли[АН-со-МА-со-ИтК], отобранных на выходе из осадительной ванны, приведены в таблице 2.

Полученные данные (таблица 2) показывают, что формование волокон в «жестких» условиях (высокая температура осадительной ванны и низкое содержание растворителя в ней) приводит к образованию крупных пор в поверхностных слоях волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]. Наибольшая активность образования пор отмечается при формовании волокон в воду. Кроме того, повышение температуры осадительной ванны увеличивает вероятность образования крупных пор в полимерном субстрате.

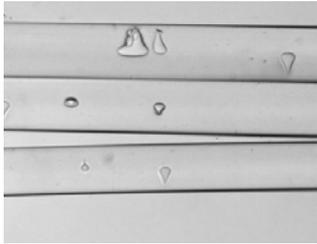
Для оценки влияния условий формования на устойчивость процесса нитеобразования был проведен анализ влияния концентрации и температуры осадительной ванны на прядомость растворов поли[АН-со-МА-со-ИтК] в воде.

Оценка максимальной скорости приема волокна из осадительной ванны проводилась путем увеличения скорости вращения первой (прядильной) галеты до момента обрыва волокна при неизменной линейной скорости истечения прядильной жидкости из отверстий фильер.

Таблица 1 – Условия формования модельных волокон на основе промышленного поли[АН-со-МА-со-ИтК]

Способ формования	Диметилформамидный
Содержание ДМФ в осадительной ванне, %	0; 40; 55
Фильерная вытяжка, %	-64
Температура осадительной ванны, °С	5; 15; 35
Пластификационная ванна	вода
Температура пластификационной ванны, °С	95,5
Кратность пластификационного вытягивания	5

Таблица 2 – Влияние условий осаждения на структуру свежесформованного гель-волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] (продольный вид)

$C_{ов}^*$, %	Температура, °С		
	5	15	35
0			
40			
55			

Примечание: * $C_{ов}$ – концентрация ДМФ в осадительной ванне, % (масс.).

Анализ влияния состава осадительной ванны и ее температуры на прядомость растворов поли[АН-со-МА-со-ИтК] в ДМФ (рисунок 1) показывает, что максимальная скорость «вытягивания» (приема) волокна из осадительной ванны возрастает с увеличением температуры осадительной ванны и с повышением концентрации растворителя в ней. Наибольшая скорость формирования (прядомость) волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] отмечается при температуре ванны 35 °С и содержании растворителя в осадительной ванне 55 % (масс.). Эксперименты с использованием осадительной ванны с большим содержанием ДМФ не проводились, так как уже при содержании растворителя в

осадительной ванне 55 % (масс.) гель-волокно имело чрезвычайно пластичную структуру, что выражалось во взаимном сдавливании филаментов в жгутике, в результате чего они имели слабо очерченную форму по типу семян граната. По всей видимости, при формировании волокна в осадительную ванну, не содержащую растворителя, прядомость ограничена формированием более плотной оболочки свежесформованного волокна, препятствующей деформации струи коагулирующего раствора.

Для оценки влияния состава осадительной ванны на способность выходящей из осадительной ванны структуры гель-волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] к деформации были

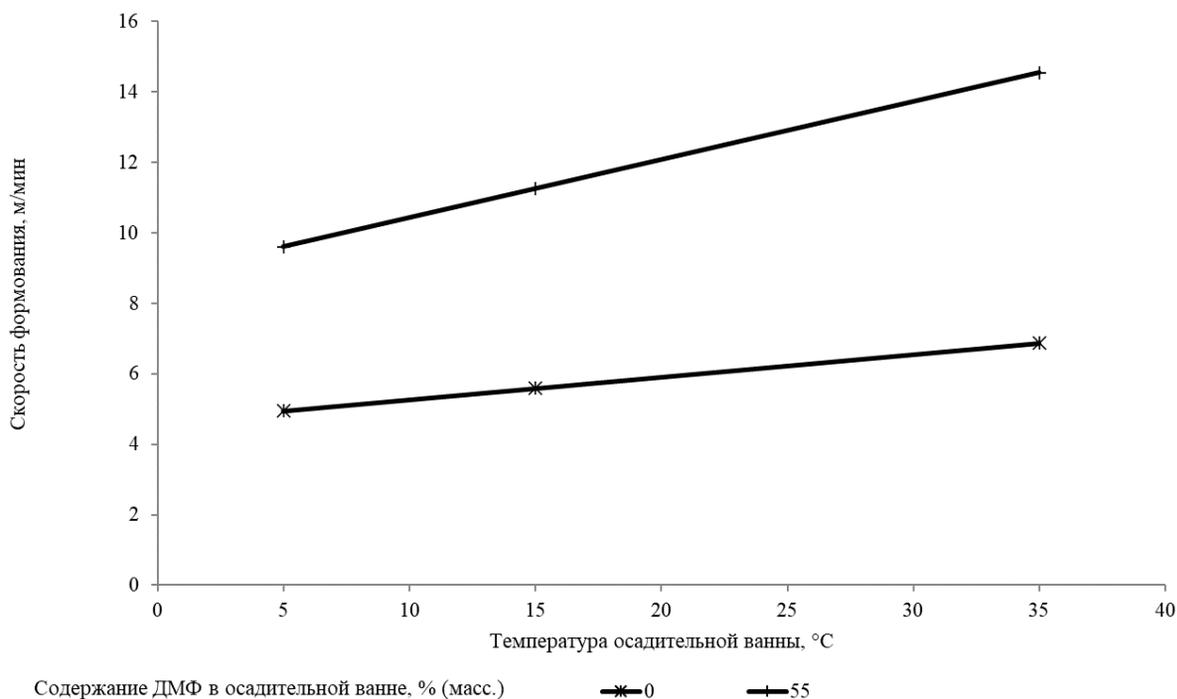


Рисунок 1 – Влияние условий осаждения на максимальную скорость формирования волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]

определены значения максимальной кратности пластификационного вытягивания (рисунок 2) в воде при температуре 95,5 °C.

Анализ полученных результатов позволяет отметить, что способность гель-волокна к деформации в пластификационной ванне незначительно повышается при повышении содержания растворителя в осадительной ванне и снижении температуры. Это можно объяснить тем, что гель-волокно, выходящее из более «холодной» осадительной ванны, представляющей собой 55 % водный раствор ДМФ, содержит несколько большее количество растворителя, который способствует подвижности сегментов макромолекул и надмолекулярных образований в полимерной основе волокна и, следовательно, обуславливает некоторое увеличение кратности его вытягивания, по сравнению с волокном, сформованным при более высокой температуре ванны. Кроме того, по всей видимости, в таком волокне еще далеки от завершения процессы структурообразования. При максимально апробированной температуре осадительной ванны

(35 °C) разница в максимальной кратности пластификационного вытягивания после формирования в различные по составу осадительные ванны стремится к минимуму. Вероятно, с повышением температуры, когда гидраты «ДМФ – вода» распадаются, условия осаждения полимера в воде и водных растворах растворителя становятся принципиально более близкими, что приводит к формированию схожих по своей структуре филаментов.

Для оценки влияния условий осаждения на структурно-механические показатели волокна были получены образцы волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], сформованных в различных по количественному составу осадительных ваннах и вытянутых при различных температурах с одинаковой кратностью пластификационного вытягивания (таблица 1).

Результаты определения физико-механических показателей (удельной разрывной нагрузки, удлинения нити при разрыве, усадки) полученных образцов модельных волокон, высушенных после пластификационного вытягивания и про-

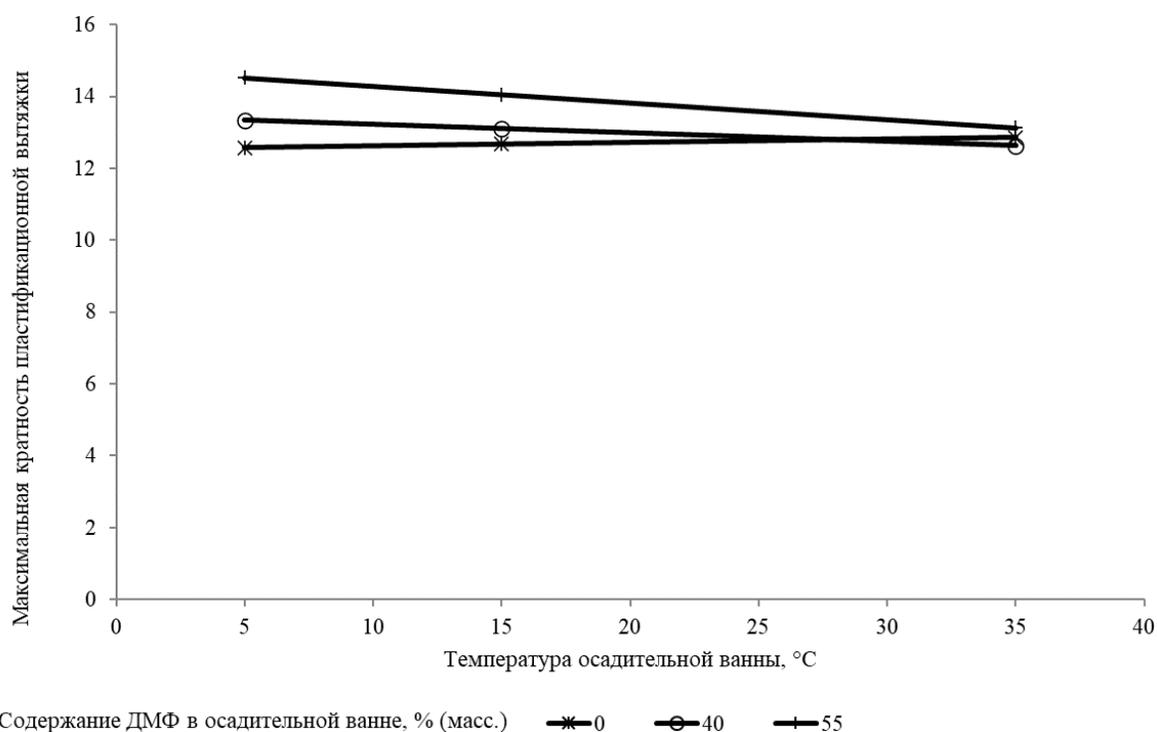


Рисунок 2 – Влияние условий осаждения на максимально возможную кратность пластификационного вытягивания волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]

мывки при комнатной температуре, приведены на рисунках 3–5, соответственно.

Анализ данных, представленных на рисунке 3, показывает, что наибольшей удельной разрывной нагрузкой характеризуются волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], сформованные в более «жестких» (по составу) осадительных ваннах. В то же время при повышении температуры осадительной ванны наблюдается снижение удельной разрывной нагрузки волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК].

Таким образом, механизмы увеличения «жесткости» осадительной ванны при повышении ее температуры или снижении содержания в ней растворителя могут быть принципиально различны, то есть нельзя говорить о существовании эквивалентности влияния на структуру волокна понижения температуры и повышения концентрации растворителя в осадительной ванне.

Результаты определения удлинения волокон при разрыве приведены на рисунке 4. Очевидно,

что рассмотренные условия формирования не оказывают существенного влияния на удлинение волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] при разрыве.

Определение усадки волокон, сформованных в различных условиях (рисунок 5), показало, что с повышением температуры, а также содержания растворителя в осадительной ванне наблюдается некоторое увеличение значений показателя «усадка» волокна. В то же время более высокой усадкой характеризуются волокна, сформованные в осадительную ванну, содержащую ДМФ в количестве 55 % (масс.).

Комплексным показателем, характеризующим прочностные физико-механические характеристики волокон, является работоспособность. Этот показатель может быть оценен как произведение удельной разрывной нагрузки на корень квадратный удлинения при разрыве. Результаты изучения влияния условий осаждения на работоспособность волокон представлены на рисунке 6.

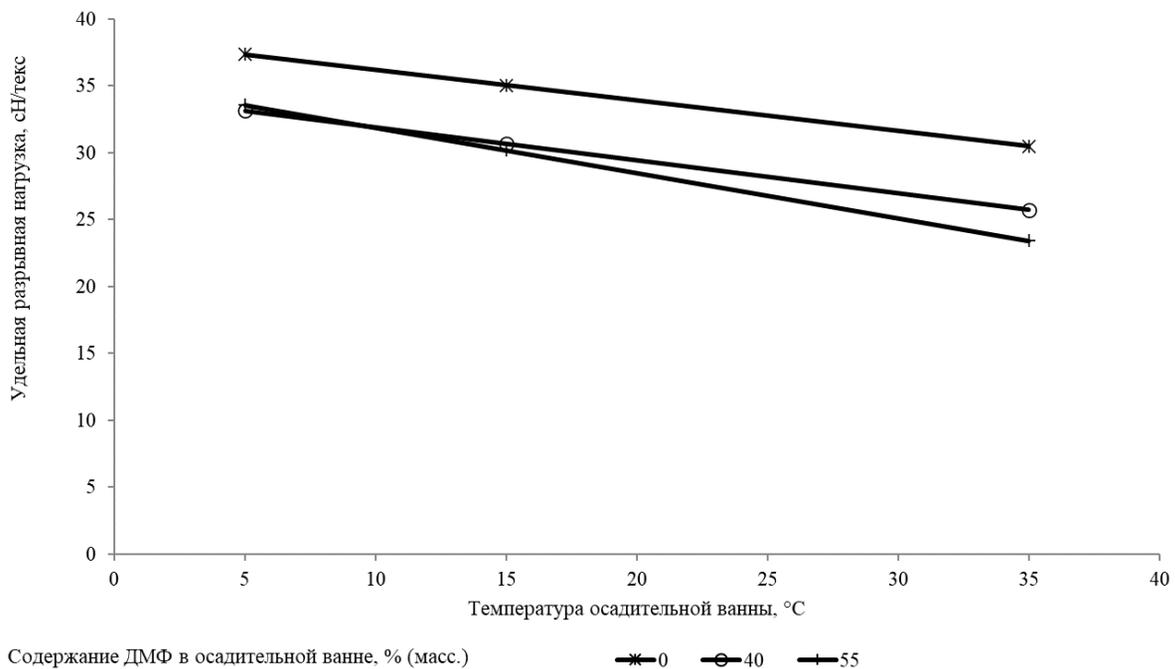


Рисунок 3 – Влияние условий осаждения на удельную разрывную нагрузку волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]

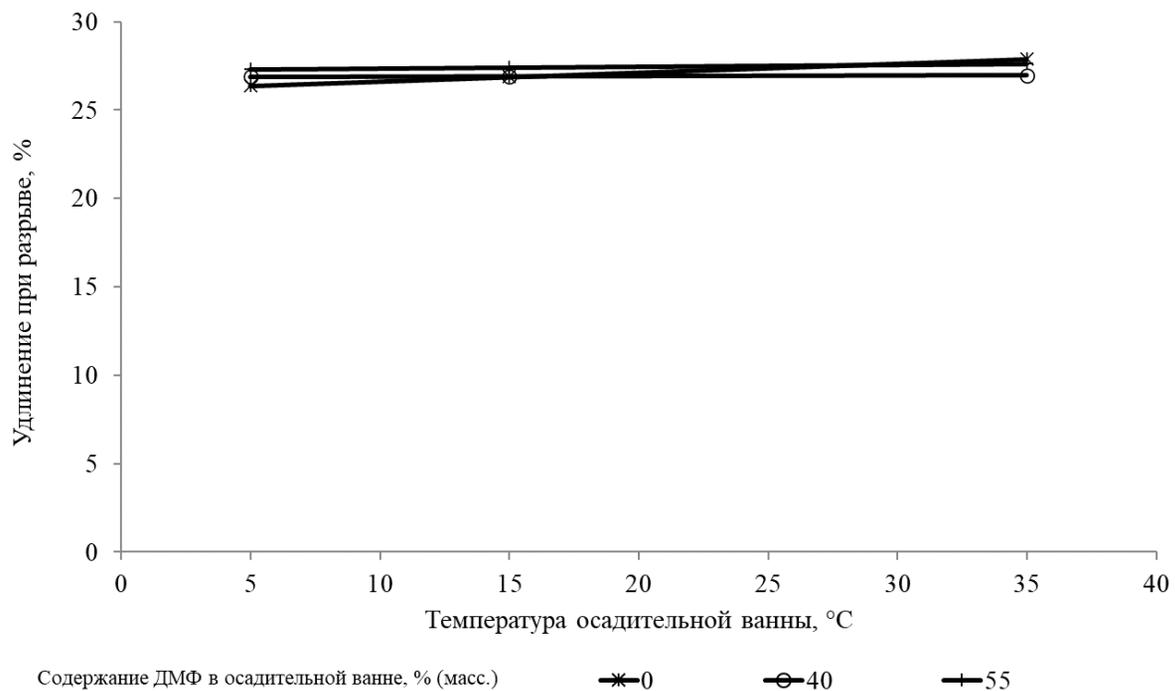


Рисунок 4 – Влияние условий осаждения на удлинение волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] при разрыве

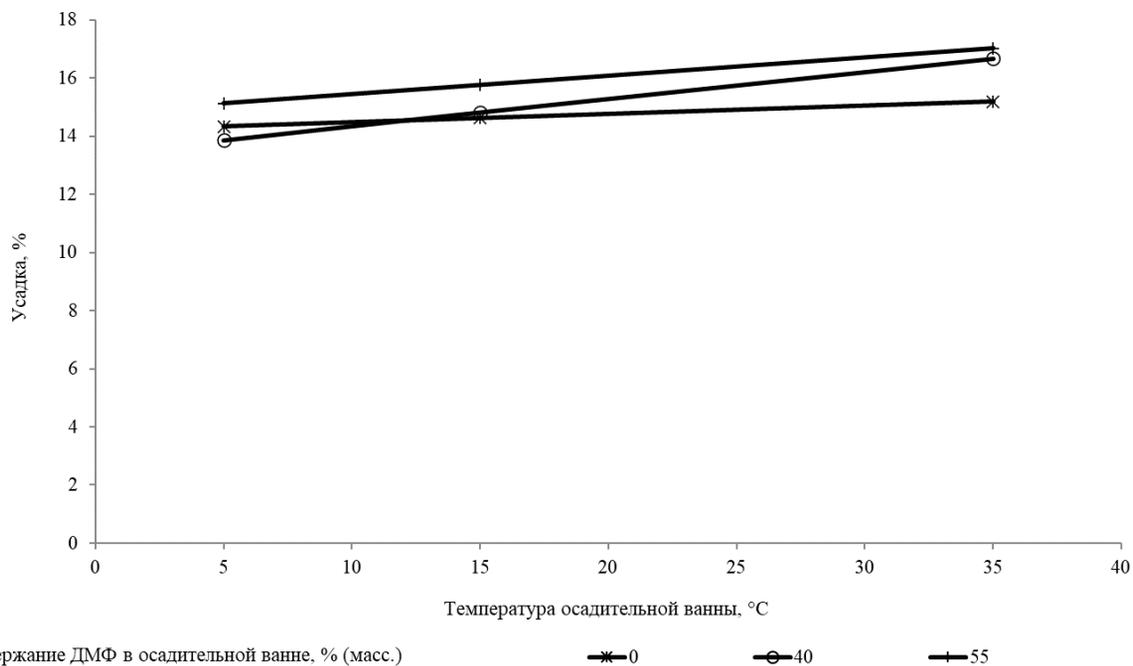


Рисунок 5 – Влияние условий осаждения на усадку волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] (сушка при 20–25 °С)

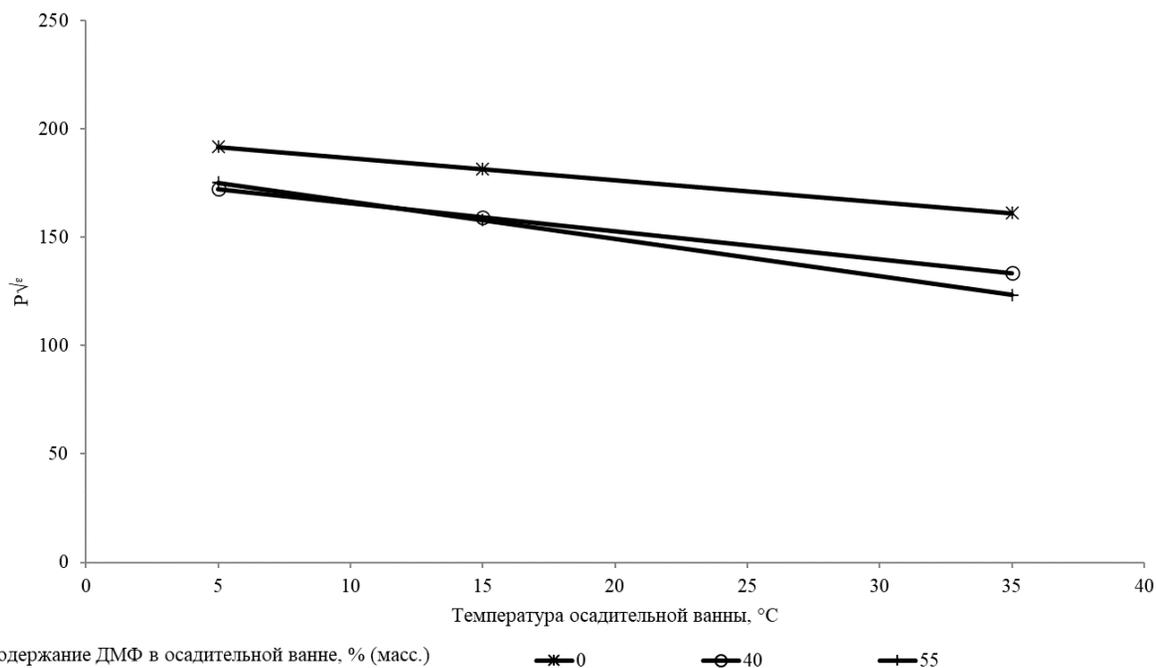


Рисунок 6 – Влияние условий осаждения на работоспособность волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]

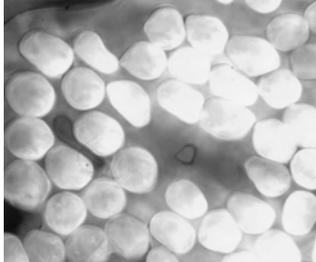
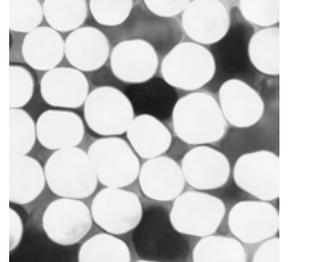
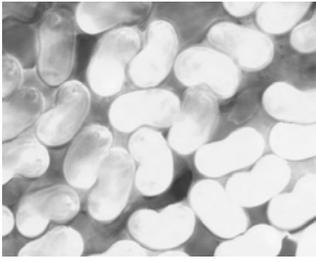
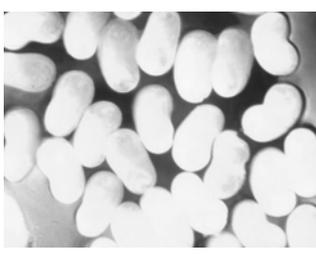
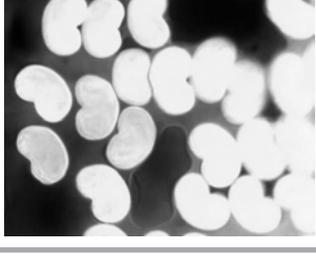
Анализ данного показателя (рисунок 6) указывает на то, что наибольшей работоспособностью отличаются волокна, полученные в осадительных ваннах, не содержащих растворителя. В то же время, работоспособность повышается со снижением температуры осадительной ванны, что может быть связано с более высокой однородностью структуры получаемых в таких условиях волокон.

Для оценки влияния условий осаждения на структурно-морфологические особенности полученных волокон проводилось микрофотографирование поперечных срезов образцов волокон на основе терсополимера АН, МА и ИтК, полученных в различных осадительных ваннах и при

различных температурах.

В таблице 3 представлены результаты микрофотографирования поперечных срезов волокон, высушенных при температуре 20–25 °С в условиях, предотвращающих усадку (микрофотографии образцов волокон получены с использованием иммерсионной жидкости – глицерина). Анализ представленных на микрофотографиях срезов показывает, что по мере снижения температуры осадительной ванны с 35 до 5 °С, а также повышения концентрации ДМФ в ней, форма поперечного среза волокна изменяется от круглой (осадительная ванна – вода) до овальной (в 40 % растворе ДМФ) и бобовидной (в 55 % растворе ДМФ). Изменение формы поперечного

Таблица 3 – Влияние условий осаждения на структуру поперечного сечения волокон (сушка волокон при 20–25 °С, микрофотографирование с глицерином)

$C_{ос}, \%$	Температура, °С		
	5	15	35
0			
40			
55			

Примечание: * $C_{ос}$ – концентрация ДМФ в осадительной ванне, % (масс.).

сечения объясняется процессами взаимодиффузии осадителя в волокно и растворителя из волокна. По всей видимости, разность химических потенциалов воды и растворителя в волокне и осадительной ванне способствует проникновению ее по механизму осмоса в структуру волокна (которая неохотно отдает ДМФ по причине химического сродства с ним) и приводит к «наполнению» волокна водой, разбавлению ДМФ и коагуляции прядильной жидкости в струе. При этом на срезах волокон, полученных во всех исследованных сочетаниях условий формирования, фактически не наблюдается пор (хотя они периодически проявляются на продольном виде), изрезанной структуры наружных слоев и выраженной оболочки, как это отмечается на отдельных режимах получения волокна на основе промышленного поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Таким образом, можно сделать вывод о том, что волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] фактически не имеют сильно «изрезанной порами» видимой оболочки и видимых пор (пустот) на поперечном срезе при формировании во всем изученном в данной работе диапазоне состава и температуры осадительной ванны. При этом снижение концентрации растворителя в осадительной ванне и повышение ее температуры приводят к постепенному изменению формы поперечного сечения волокон от бобовидной к более округлой.

Наибольшей удельной разрывной нагрузкой характеризуются волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК], сформованные в более «жестких» по составу (низкоконцентрированных растворах ДМФ) и в более «мягких» по температуре осадительных ваннах. Изученные условия формирования не оказывают существенного влияния на удлинение волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] при разрыве.

Наибольшей работоспособностью отличаются волокна, полученные по диметилформамидному методу на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] при использовании в качестве осадительной ванны воды, что в данном случае может быть объяснено более плотной структурой полимерной фазы, а также при более низких температурах осадительной ванны, что может быть связано с более высокой однородностью структуры получаемых в таких условиях волокон. Повышение

температуры, а также содержания растворителя в осадительной ванне, приводит к некоторому увеличению значений показателя «усадка» волокон, подвергнутых пластификационному вытягиванию.

Выводы

Результаты проведенной работы показывают принципиальную осуществимость процесса получения волокон по диметилформамидному методу на основе волокнообразующего поли[АН-со-МА-со-ИтК]. При этом переход от АМПС к ИтК в качестве кислотного сомономера может обеспечить ряд преимуществ, связанных с увеличением однородности структуры волокна. Это может привести к улучшению структурно-механических свойств и окрашиваемости ПАН волокнистых материалов, а также дает возможность использования нового ассортимента ПАН волокон в качестве прекурсора углеродных волокнистых материалов при соответствующей корректировке ряда параметров технологического процесса.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23–24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Городнякова, И. С., Чвириков, П. В., Щербина, Л. А. (2011), Об опыте эксплуатации и модернизации стандовой прядильной установки МУЛ-1, *Материалы Международной научно-технической конференции-семинара*, Могилев, 2011, С. 173–175.
2. Городнякова, И. С., Щербина, Л. А. (2019), Морфология волокон, получаемых из растворов промышленных волокнообразующих сополимеров акрилонитрила в апротонных и гидротропных растворителях, *Полимерные материалы и технологии*, 2019, Т. 5, № 2, С. 53–66.
3. Городнякова, И. С., Щербина, Л. А., Будкуте, И. А. (2020), Влияние состава осадительной ванны на структуру и свойства волокна, получаемого мокрым методом из растворов поли[акрилонитрил-со-метилакрилат-со-2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоты] в апротонных и гидротропном растворителях, *Полимерные материалы и технологии*, 2020, Т. 6, № 4, С. 42–57.
4. Городнякова, И. С., Щербина, Л. А., Устинов, К. Ю. (2017), О некоторых аспектах регулирования показателя «усадка» волокна на основе терсополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоты, *Полимерные материалы и технологии*, 2017, Т. 3, № 4, С. 37–43.
5. Чвириков, П. В., Городнякова, И. С., Щербина, Л. А. (2012), Исследование процесса получения полиакрилонитрильного волокна с повышенной прочностью, *Дизайн. Материалы. Технология*, 2012, № 5 (25), С. 59–63.
6. Чеголя, А. С. [и др.] (1982), *Аналитический контроль производства синтетических волокон. Справочное пособие*, Москва, 256 с.

REFERENCES

1. Haradniakova, I. S., Chvirov, P. V., Shcherbina, L. A. (2011), On the experience of operation and modernization of the MUL-1 bench spinning plant [Ob opyte ekspluatatsii i modernizatsii stendovoy pryadil'noy ustanovki MUL-1], *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-seminar – Proceedings of the International Scientific and Technical Conference-Seminar*, Mogilev, 2011, pp. 173–175.
2. Haradniakova, I. S., Shcherbina, L. A. (2019), Morphology of fibers obtained from solutions of industrial fiber-forming acrylonitrile copolymers in aprotic and hydrotropic solvents [Morfologiya volokon, poluchayemykh iz rastvorov promyshlennykh voloknoobrazuyushchikh sopolimerov akrilonitrila v aprotonnykh i gidrotropnykh rastvoritelyakh], *Polimernyye materialy i tekhnologii – Polymer Materials and Technologies*, 2019, vol. 5, № 2, С. 53–66.
3. Haradniakova, I. S., Shcherbina, L. A., Budkute, I. A. (2020), Influence of the spinning bath composition on the structure and properties of the fiber obtained by the wet method from solutions of poly[acrylonitrile-co-methylacrylate-co-2-acrylamide-2-methylpropane-sulfonic acids] in aprotic and hydrotropic solvents [Vliyaniye sostava osaditel'noy vannы na strukturu i svoystva volokna, poluchayemogo mokrym metodom iz rastvorov poli[akrilonitril-so-metilakrilat-so-2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty] v aprotonnykh i gidrotropnom rastvoritelyakh], *Polimernyye materialy i tekhnologii – Polymer Materials and Technologies*, 2020, vol. 6, № 4, pp. 42–57.
4. Haradniakova, I. S., Shcherbina, L. A., Ustinov, K. Yu. (2017), On some aspects of regulating the «shrinkage» index of a fiber based on a tercopolymer of acrylonitrile, methyl acrylate and 2-acrylamide-2-methylpropane sulfonic acid [O nekotorykh aspektakh regulirovaniya

7. Щербина, Л. А., Ильичева, Н. И., Геллер, Б. Э., Болтовский, В. С. (2007), *Метод Кьельдаля*, Минск, 86 с.
- pokazatelya «usadka» volokna na osnove tersopolimera akrilonitrila, metilakrilata i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty], *Polymer Materialy i tekhnologii – Polymer Materials and Technologies*, 2017, vol. 3, № 4, pp. 37–43.
5. Chvirov, P. V., Haradniakova, I. S., Shcherbina, L. A. (2012), Study of the process of obtaining polyacrylonitrile fiber with increased strength [Issledovaniye protsessa polucheniya poliakrilonitril'nogo volokna s povyshennoy prochnost'yu], *Dizayn. Materialy. Tekhnologiya – Design. Materials. Technology*, 2012, № 5 (25), pp. 59–63.
6. Chegolya, A. S. [et al.] (1982), *Analiticheskiy kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon. Spravochnoye posobiye* [Analytical control of the production of synthetic fibers. Reference book], Moscow, 256 p.
7. Shcherbina, L. A., Ilyicheva, N. I., Geller, B. E., Boltovsky, V. S. (2007), *Metod K'yel'daly* [Kjeldahl Method], Minsk, 86 p.

Статья поступила в редакцию 03. 10. 2022 г.

ВЛИЯНИЕ ФЕРМЕНТНОЙ ОБРАБОТКИ НА СВОЙСТВА ЛЬНЯНОГО КОТОНИНА**EFFECT OF ENZYMATIC TREATMENT ON THE PROPERTIES OF LINEN COTTONIN**

УДК 677.11/027.2

Д.Л. Лисовский*, Н.Н. Ясинская

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-94-103>**D. Lisouski*, N. Yasinskaya**

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЛЕН, КОТОНИЗИРОВАННОЕ ВОЛОКНО, БИООТВАРКА, ФЕРМЕНТНАЯ ОБРАБОТКА, ПЕКТИНОЛИТИЧЕСКИЕ И ЦЕЛЛЮЛОЛИТИЧЕСКИЕ ФЕРМЕНТЫ

В статье представлены результаты исследования процесса биохимической котонизации льняного волокна с использованием мультиферментных композиций, включающих пектинолитические и целлюлолитические ферменты. Приведены методики и результаты определения активности используемых ферментов. Проведена биоотварка котонизированного льняного волокна с последующим пероксидным белением с использованием пектолитических и целлюлолитических ферментов. Обработка целлюлолитическими ферментами в высокой концентрации существенно увеличила индекс коротких волокон и снизила прочность волокна. Предварительная энзимная обработка пектиназами и их смесями с целлюлазой привела к получению котонизированного волокна со степенью белизны выше на 4,3–4,5 %, линейной плотностью ниже на 12–25 %, потерей массы на 52–54 % ниже в сравнении с традиционно подготовленным волокном. Установлена оптимальная концентрация пектиназы в варочном растворе (2–3 г/л). Предварительная ферментная обработка позволила получить котонизированное льняное волокно с улучшенными физико-механическими свойствами.

ABSTRACT

FLAX, COTTONIZED FIBER, BIOSCOURING, ENZYME TREATMENT, PECTINOLYTIC AND CELLULOLYTIC ENZYMES

The article presents the results of a study of the process of biochemical flax fiber cottonization using multi-enzyme compositions, including pectinolytic and cellulolytic enzymes. The methods and results of determining the activity of the enzymes used are presented. Bioscouring of cottonized flax fiber was carried out, using pectolytic and cellulolytic enzymes with following peroxide bleaching. Treatment with high concentrations of cellulolytic enzymes significantly increased the short fiber index and reduced fiber strength. Enzyme treatment with pectinases and their mixtures with cellulase led to the production of cottonized fiber with a degree of whiteness higher by 4.3–4.5 %; a linear density lower by 12–25 %; a weight loss by 52–54 % lower in comparison with the traditionally prepared fiber. The optimal concentration of pectinase in the cooking solution (2–3 g/l) was determined. Thus, the preliminary enzymatic treatment made it possible to obtain cottonized flax fiber with improved physical and mechanical properties.

ВВЕДЕНИЕ

Льноводство – исторически традиционная отрасль сельского хозяйства в Республике Беларусь, которая позволяет до определенной степени удовлетворить потребность в тканях

и текстильных изделий [1]. Однако в последнее время наблюдается спад производства. Так, в сравнении с 2020 годом площади посевов и объемы выработки волокна в 2021 году снизились на 14 и 25 %, соответственно [2]. Вероятно,

* E-mail: lisouskid@gmail.com (D. Lisouski)

это связано, прежде всего, со снижением рентабельности производства ввиду высоких затрат на его возделывание и низких цен на продукцию из льна.

Одним из способов повышения рентабельности льноводства является импортозамещение хлопка, чего можно достичь в результате переработки отходов трепания льнотресты и короткого льноволокна, для рационального использования которого нужно наращивать производство модифицированного волокна, свойства которого приближены к свойствам хлопка (котонина). При смешивании котонины с хлопком и другими волокнами снижается себестоимость полученной продукции, а следовательно, снижается и рентабельность производства льна.

Сравнивая волокна льна и хлопка, следует отметить, что волокна льна имеют большую длину, а волокна хлопка – меньшую линейную плотность. Для того, чтобы приблизить льняное волокно к хлопковому, его необходимо подвергнуть процессу так называемой котонизации, который представляет собой расщепление на более мелкие волокна, результатом чего является котонин.

Такого рода волокно можно смешивать с другими волокнистыми материалами: с хлопком, вискозой или шерстью, что дает возможность получить ткани различного назначения с достойным внешним видом, высокой несминаемостью, которые помимо всего прочего будут сохранять гигиенические свойства льна.

Котонизированное волокно, помимо его использования для получения смешанных пряжи и тканей, можно применять в производстве мебельной, одежной и медицинской ваты. Изделия, произведенные из такой ваты, будут обладать высокими антистатическими свойствами, достаточной влагоемкостью и воздухопроводимостью. Кроме того, утилизация таких волокон не требует специальных мер, что безусловно благоприятно сказывается на экологической безопасности.

Традиционный процесс химической переработки котонизированного льняного волокна заключается в его обработке высокощелочными растворами при высокой температуре с последующим белением пероксидом водорода в присутствии метасиликата натрия. Помимо высоких

затрат на электроэнергию, традиционные химические способы обработки текстильных материалов наносят существенный урон экологии и требуют большого расхода воды.

Альтернативой щелочной отварке является применение ферментных технологий для обработки льняного волокна в более мягких условиях и безопасно для окружающей среды. Цель данной работы заключалась в подборе ферментных препаратов и режимов их использования для получения отбеленного котонина с улучшенными физико-механическими характеристиками из механически котонизированного льноволокна.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования

Объектом исследования являлось льняное котонизированное волокно, полученное механическим способом на линии котонизации фирмы «ТЕМАФА» на производственных мощностях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» (г. Орша, Республика Беларусь).

Ферменты и методы определения активности

Исследовали эффективность различных ферментных препаратов и их комбинаций в процессе биообработки льняного котонизированного волокна. В настоящей работе использовали следующие ферментные препараты: пектиназа, NC720 и ЭНЗИТЕКС ЦКС (ООО «Фермент», Республика Беларусь).

Полигалактуроназную активность определяли титриметрическим методом. В качестве субстрата использовали 1 % водный раствор пектина из кожуры цитрусовых (Sigma P9135). Раствор ферментного препарата для анализа готовили путем его растворения в 0,1 *М* цитратном буфере с *pH* 3,5 с дальнейшим разбавлением до необходимого значения активности. Ферментативную реакцию проводили в течение 30 минут при температуре 50 °С, смешивая 5 *см*³ раствора пектина, 4 *см*³ 0,1 *М* цитратного буфера и 1 *см*³ раствора фермента. Ферментативную реакцию останавливали путем кипячения реакционной смеси в течение 5 минут на водяной бане. После этого отбирали 5 *см*³ реакционной смеси, добавляли 2 *см*³ 1 *М* раствора карбоната натрия и 5 *см*³ 0,05 *М* стандартного раствора йода. Полученную смесь оставляли на 20 минут в темном месте для протекания реакции между

йодом и выделившейся в процессе ферментативной реакции галактуроновой кислотой, после чего добавляли 2 см^3 1 М раствора серной кислоты и титровали $0,05 \text{ М}$ стандартным раствором тиосульфата натрия оставшийся йод до исчезновения синей окраски, в конце титрования добавляя в качестве индикатора 1% раствор крахмала. За единицу полигалактуроназной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на пектин образуется 1 мг галактуроновой кислоты за один час при температуре $50 \text{ }^\circ\text{C}$ и pH 3,5.

Пектатлиазную активность определяли спектрофотометрическим методом по количеству ненасыщенных продуктов деструкции полигалактуроновой кислоты под действием ферментного препарата на полигалактуроновую кислоту по известной методике [3] с небольшими изменениями. В качестве субстрата использовали $0,2 \%$ раствор полигалактуроновой кислоты (Sigma 81325) в $0,2 \text{ М}$ глицин- NaOH буферном растворе с pH 9,0, содержащем 1 мМ хлорида кальция. За единицу пектатлиазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на полигалактуроновую кислоту за одну минуту при температуре $45 \text{ }^\circ\text{C}$ и pH 9,0 образуется 1 микромоль ненасыщенных олигосахаридных продуктов реакции.

Целлюлазную активность определяли спектрофотометрическим методом с 3,5-динитросалициловой кислотой (ДНС реактивом), основанной на протоколе Миллера [4]. В качестве субстрата использовали 1% раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Sigma 21902, medium viscosity) в $0,1 \text{ М}$ ацетатном буферном растворе с pH 5,0 при определении активности кислой целлюлазы и в $0,1 \text{ М}$ фосфатном буферном растворе с pH 6,0 при определении активности нейтральной целлюлазы. За единицу целлюлазной активности принимали такое количество фермента, при действии которого на натриевую соль карбоксиметилцеллюлозы за одну минуту при температуре $40 \text{ }^\circ\text{C}$ и pH 5,0 ($6,0$) образуется 1 микромоль восстанавливающих сахаров в пересчете на глюкозу.

Методика ферментативной обработки волокна

Ферментативную отварку волокна проводили с использованием ферментных препаратов и их комбинаций. Волокно обрабатывали в

растворе ферментного препарата с заданным pH с продолжительностью 120 минут. Процесс биоотварки проводили при температуре 50 и $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Концентрацию ферментного препарата в растворе варьировали от 0 до 10 г/л для щелочной пектиназы и от 0 до 5 г/л – для целлюлазы NC720, концентрация ЭНЗИТЕКС ЦКС составляла $0,2 \text{ г/л}$. Помимо этого, варочный раствор содержал смачиватель NR520 на основе фосфорных эфиров этоксилированных спиртов (поставщик ООО «Фермент», Республика Беларусь) в концентрации 1 г/л . Модуль ванны составлял 1 к 15 . После окончания обработки волокно промывали последовательно горячей и холодной водой, отжимали, сушили при температуре $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в сушильном шкафу, определяли потерю массы и подвергали процедуре беления.

Методика традиционной обработки волокна

Волокнистый материал подвергали обработке в течение 120 минут при температуре $98 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ в растворе, который содержал 7 г/л гидроксида натрия и 1 г/л смачивателя. Модуль ванны составлял 1 к 15 . Затем волокно промывали горячей и холодной водой, отжимали и сушили при температуре $60 \text{ }^\circ\text{C}$ в сушильном шкафу, определяли потерю массы и подвергали процедуре беления.

Беление биообработанного и отваренного льняного волокна осуществляли при температуре $98 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 90 минут в растворе, содержащем $4,0 \text{ г/л}$ пероксида водорода, $1,2 \text{ г/л}$ гидроксида натрия, 6 г/л метасиликата натрия и 1 г/л смачивателя.

Методики оценки физико-механических свойств волокна

Физико-механические характеристики исходного и обработанного котонина определяли на системе USTER LVI (Low Volume Instrument), которая установлена в лаборатории кафедры «Технология текстильных материалов» Витебского государственного технологического университета и представляет собой комплекс приборов.

С использованием прибора Fibrograph 730 определяли следующие характеристики длины волокна: средняя длина волокна ML (Mean Length); верхняя средняя длина волокна UHML (Upper Half Mean Length); индекс равномерности UI (Uniformity Index); индекс коротких во-

локон SFI (Short Fibers Index). Предварительно формировали штапель волокна с использованием устройства USTER LVI Fibrosampler 192.

Для оценки коэффициента отражения (степени белизны) и степени желтизны использовали прибор USTER LVI 760 Color/Trash Meter. Для проведения испытаний отбирали пробу волокна массой около 10 г размером 10 см на 10 см, укладывали на стекло прибора, прижимали крышкой и проводили измерение.

Разрывную нагрузку котонина определяли на разрывной машине WDW-20E. Для этого готовили штапель волокна, закрепляли между зажимами на расстоянии 3 мм и подвергали деформированию со скоростью 10 мм/с.

Линейную плотность (T) рассчитывали по следующей формуле:

$$T = \frac{m}{k \times UHML \times N}, \quad (1)$$

где m – масса штапеля льняных волокон, г; k – экспериментально установленный коэффициент, равный 3,4; $UHML$ – верхняя средняя длина волокна, км; N – количество волокон в штапеле.

Потерю массы (Δm , %) определяли как соотношение разницы массы волокна до обработки и после к массе волокна до обработки с учетом влажности образца.

Методики определения химического состава волокна

Определение влажности проводили методом высушивания до постоянной массы при температуре 105 °С [5].

Содержание пектиновых веществ определяли путем их экстракции раствором лимоннокислого аммония из волокна, которое предварительно обрабатывали спиртобензольной смесью и водой [6], с последующим спектрофотометрическим анализом экстракта по окрашенному комплексу полимеров с о-толуидиновым реагентом при длинах волн 365, 385 и 630 нм [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты определения ферментативных активностей ферментных препаратов, которые использовали в настоящем исследовании, приведены в таблице 1. Два из исследованных ферментных препарата NC720 и ЭНЗИТЕКС ЦКС представляют собой целлюлолитические энзимы с различными оптимумами действия pH . Ферментный препарат пектиназы представляет собой комплексный продукт, содержащий как полигалактуроназную, так и пектатлиазную активности.

Известно, что физико-механические свойства льняного волокна непосредственно зависят от химического состава и степени извлечения полимерных примесей (лигнина, гемицеллюлоз, пектиновых веществ) из него [8]. Пектиновые вещества являются одним из важнейших полимерных примесей льняного волокна, которые содержатся как в срединных пластинках, так и в инкрустах – поверхностных отложениях на волокне остатков камбия и паренхимных тканей [9].

Для установления закономерности изменения содержания пектиновых веществ в зависимости от концентрации фермента пектиназы в процессе биоотварки, мы провели серию экспериментов по обработке механически кото-

Таблица 1 – Характеристика ферментных препаратов

Ферментный препарат	Ферментативная активность	Оптимальный диапазон работы pH
NC720	Целлюлазная 1 460 ед/см ³ (при pH 6,0)	5–7
ЭНЗИТЕКС ЦКС	Целлюлазная 1 568 ед/см ³ (при pH 5,0)	5,0–5,5
Пектиназа	Полигалактуроназная 360 ед/см ³ Пектатлиазная 324 ед/см ³	8–10

низированного льняного волокна варочным раствором, содержащем от 0 до 10 г/л фермента пектиназы при pH 8,1 и температуре 50 °С в течение двух часов (рисунок 1).

Установлено, что с увеличением концентрации ферментного препарата содержание пектиновых веществ уменьшается. Данную зависимость можно описать экспоненциальным уравнением вида $y = a - b \cdot c^x$ ($R^2 = 0,89$). При этом концентрация ферментного препарата в варочном растворе выше 2–3 г/л уже не оказывает существенного влияния на остаточное содержание пектиновых веществ. Таким образом, использование ферментного препарата в концентрации выше 2–3 г/л, вероятно, является нецелесообразным. Следует также отметить, что при традиционной обработке льняного волокна остаточное содержание пектиновых веществ составило 0,72 масс. %, из чего следует, что биобработка волокна позволяет извлекать пектины в большей степени, чем при традиционном процессе.

Массив данных физико-механических свойств обработанного льняного котонина представлен в таблице 2.

Потеря массы волокна в процессе отварки существенно меньше в случае использования ферментных препаратов, нежели традиционной щелочной обработки при высокой температуре. Зависимость потери массы волокна от концентрации пектолитического фермента не установлена, что говорит о его низкой деструктурирующей способности. Напротив, увеличение концентрации целлюлозолитического фермента NC720 в процессе отварки вызывало незначительный рост потери массы волокна. Зависимость потери массы волокна в процессе беления от типа предварительной обработки также не установлена.

Длина волокна характеризуется двумя величинами – средней длиной (ML) и верхней средней длиной ($UHML$). Физический смысл верхней средней длины заключается в том, что она равна средней массодлине наиболее длинных волокон пробы волокон, составляющих 50 %

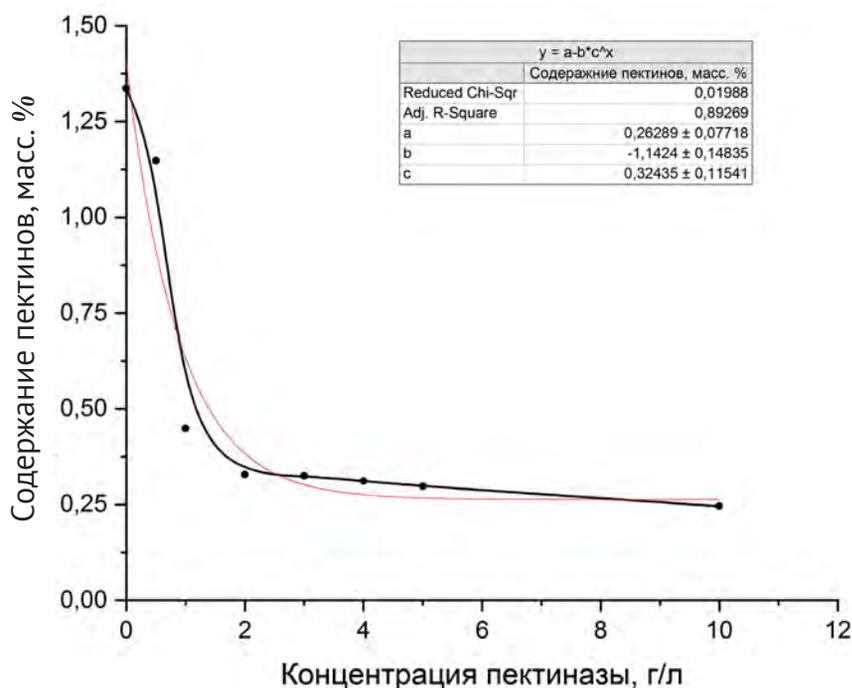


Рисунок 1 – Зависимость остаточного содержания пектиновых веществ в льняном волокне от концентрации ферментного препарата пектиназы в процессе биотварки

Таблица 2 – Физико-механические свойства обработанного льняного котонина

Условия обработки	Концентрация фермента, г/л	Средняя длина волокна, мм	Верхняя средняя длина волокна, мм	Индекс равномерности, %	Индекс коротких волокон, %	Коэффициент отражения, %	Степень желтизны, %	Линейная плотность, текс	Потеря массы после отварки, %	Потеря массы после беления, %
	<i>C</i> , г/л	<i>ML</i> , мм	<i>UHML</i> , мм	<i>UI</i> , %	<i>SF</i> , %	<i>Rd</i> , %	<i>+b</i> , %	<i>T</i> , текс	Δm_o , %	Δm_B , %
суровый котонин	-	36,04	43,66	82,5	5,2	-	-	1,74	-	-
пектиназа, 1,0 г/л смачиватель, 2 ч, 50 °С, <i>pH</i> 8,1	0,0	30,11	40,98	73,6	6,5	73,82	10,57	1,66	6,60	13,59
	0,5	27,72	38,15	72,7	7,3	75,70	10,36	1,11	10,26	12,89
	1,0	31,39	41,55	75,6	6,1	77,37	9,25	1,11	10,44	13,15
	2,0	26,53	35,20	75,4	9,3	80,51	9,40	1,15	10,17	10,74
	3,0	26,00	35,34	73,6	9,1	80,88	9,85	1,33	10,45	11,94
	4,0	27,74	36,41	76,3	7,9	80,67	8,85	1,33	10,60	9,25
	5,0	28,87	37,75	75,2	6,9	80,92	8,77	1,22	10,48	13,50
целлюлаза NC720, 1,0 г/л смачиватель, 2 ч, 50 °С, <i>pH</i> 6,0	0,0	28,09	38,67	72,2	8,6	73,98	10,26	1,69	7,32	11,45
	1,0	23,52	33,17	70,9	13,1	75,61	10,23	1,49	10,98	10,02
	3,0	21,01	30,06	69,9	22,5	77,25	10,00	1,38	11,77	10,95
	5,0	17,52	25,40	68,9	43,4	81,19	8,77	1,13	12,41	11,01
6 г/л NaOH, 1 г/л смачиватель, 2 ч, 98 °С	0,0	27,85	35,52	78,4	7,2	77,04	10,15	1,48	23,23	10,23
ЭНЗИТЕКС ЦКС, 1,0 г/л смачиватель, 2 ч, 50 °С, <i>pH</i> 8,1	0,2	23,86	32,55	73,3	11,6	75,46	11,48	1,26	10,07	10,56
пектиназа/ЭНЗИТЕКС ЦКС, 1,0 г/л смачиватель, 2 ч, 50 °С, <i>pH</i> 8,1	2,5/0,2	22,36	31,65	70,7	13,8	76,41	10,29	1,12	13,70	12,36
пектиназа/NC720, 1,0 г/л смачиватель, 2 ч, 50 °С, <i>pH</i> 8,1	2,0/0,2	23,97	30,69	72,5	21,0	80,37	9,41	1,29	10,95	12,15

ее массы. Верхняя средняя длина является аналогом штапельной длины.

Независимо от типа обработки показатели длины *ML* и *UHML* подготовленного льноволокна снизились в сравнении с исходным котонином. С увеличением концентрации пектиназы до 2 г/л наблюдалось уменьшение средней длины волокна и линейной плотности волокна, то есть его толщины, что связано с удалением пектиновых веществ и разрушением инкрустов, и, как следствие, более полным продоль-

ным дроблением пучков технических волокон. При этом, видимо, также частично разрушаются стыковые спайки между волокнами, что приводит к уменьшению длины волокна. Дальнейшее увеличение концентрации фермента привело к обратному эффекту – линейная плотность и длина льноволокна увеличились. Данный эффект сложно поддается объяснению. Вероятно, при высокой концентрации фермента за короткий промежуток времени выделяется большое количество продуктов гидролиза, что ингибирует

дальнейшее действие ферментного препарата, тем самым снижая эффект от его применения. Индекс равномерности длины волокна не зависит от концентрации пектиназы, а его значение было несколько ниже, чем при традиционной обработке.

С увеличением концентрации пектиназы на стадии отварки наблюдалось увеличение степени белизны льноволокна после беления. В сравнении с традиционной технологией предварительная ферментативная обработка пектиназой в концентрации 2 г/л и выше позволила получить волокна со степенью белизны более чем на 4 % выше, чем при традиционной подготовке. Обратный эффект от применения пектиназы наблюдался для степени желтизны волокна – с увеличением концентрации фермента степень желтизны снижалась. Наблюдаемые явления, вероятно, связаны с более доступной структурой льняного волокна для действия отбеливающих агентов при его предварительной ферментативной подготовке.

С увеличением концентрации нейтральной целлюлазы NC720 показатели длины волокна

стремительно снижались, а индекс коротких волокон, который показывает количество волокон длиной меньше 16 мм, существенно увеличивался. Очевидно, что в данном случае основной биополимер льноволокна целлюлоза подвергается значительной деструкции. При этом значительных потерь в массе волокна в процессе ферментативной отварки не наблюдалось, а коэффициент отражения отбеленного волокна с увеличением концентрации целлюлазы, как и в случае применения пектиназы, возрастал. Отваренное в растворе целлюлазы и отбеленное волокно в сравнении с традиционно подготовленным обладает меньшей толщиной, что, вероятно, связано в высокой степенью дробления льняных пучков вследствие действия целлюлазы.

При этом деструктурирующий эффект целлюлазы проявил себя при оценке прочностных характеристик подготовленного льноволокна. Так, волокно, предварительно обработанное целлюлазой, было практически в 10 раз менее прочным, чем обработанное пектиназой или щелочным раствором (рисунок 2).

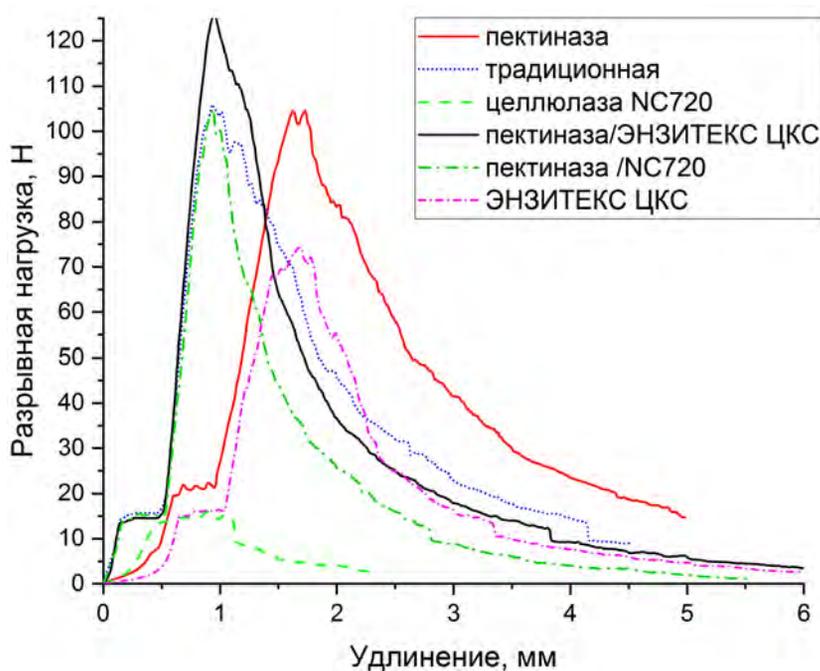


Рисунок 2 – Диаграмма растяжения предварительно обработанного и отбеленного льняного котонина

Для изучения влияния кислой целлюлазы и совместного применения пектиназы и целлюлазы в процессах предварительной отварки на физико-механические свойства льноволокна осуществили ряд опытов. Ферментативную отварку с использованием кислой целлюлазы ЭН-ЗИТЕКС ЦКС провели при существенно меньшей концентрации препарата, чем в изначальных экспериментах с целлюлазами, чтобы избежать катастрофического снижения прочности волокна. И действительно, после обработки прочность волокна сохранилась на достаточно высоком уровне, при этом средняя длина волокна была меньше, чем при традиционной обработке, а коэффициент отражения отбеленного волокна был ниже более чем на 2 %. В то же время удалось получить более тонкое льноволокно, на что указывает показатель линейной плотности.

Использование смеси пектиназы и целлюлазы также позволило получить более тонкое волокно, чем при использовании щелочной отварки. Прочность такого волокна не уступала прочности волокна, подготовленного традиционным способом, несмотря на высокое содержание коротких волокон, индекс которых в случае применения смеси пектиназы и целлюлазы NC720 составил более 20 %.

ВЫВОДЫ

В результате экспериментальных исследований установлено, что:

- содержание пектиновых веществ в волокне снижалось с увеличением концентрации пектиназы в варочном растворе, а ее оптимальная концентрация составила 2–3 г/л;

- при использовании высоких концентраций целлюлолитических ферментов прочностные характеристики льняного котонина критически снизились, что ставит под сомнение возможность его дальнейшей переработки в пряжу;

- использование пектолитических ферментов, а также их смесей с целлюлазами, на стадии предварительной отварки и последующим пероксидным белием позволило получить льняное котонизированное волокно со степенью белизны на 4,3–4,5 % выше, линейной плотностью на 12–25 % ниже, потерей массы на 52–54 % ниже в сравнении с традиционно подготовленным волокном.

Таким образом, предварительная ферментная обработка позволила получить котонизированное льняное волокно с улучшенными физико-механическими свойствами.

Работа финансировалась в рамках выполнения задания Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, проект № T22УЗБ-062.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пестис, М. В. (2011), *Состояние и перспективы производства и переработки льна в условиях Гродненской области: монография*, Гродно, ГГАУ, 168 с.
2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2022), *Статистический ежегодник 2022*, Минск, Национальный статистический комитет Республики Беларусь, режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiwet4h4icu0kdlu0roip08.pdf>. – Дата доступа: 25.10.2022.

REFERENCES

1. Pestis, M. V. (2011), *Sostojanie i perspektivy proizvodstva i pererabotki l'na v uslovijah Grodnenskoj oblasti: monografija* [State and prospects for the production and processing of flax in the conditions of the Grodno region: monography], Grodno, GSAU, 168 p.
2. National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2022), *Statistical Yearbook 2022*, Minsk, National Statistical Committee of the Republic of Belarus, available at: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da7/2ofs6kwxniiwet4h4icu0k>

3. Xueyun Zheng, Yimin Zhang, Xiaoxiao Liu, Cheng Li, Ying Lin and Shuli Liang (2020), High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From Bacillus sp. RN1 in Pichia pastoris With Potential in Ramie Degumming, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020, Vol. 8, article 850, available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00850/full>.
4. Miller, G. L. (1959), Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, *Anal. Chem.*, 31(3), pp. 426–428.
5. Оболенская, А. В., Щеголев, В. П., Аким, Г. Л., Аким, Э. Л., Коссович, Н. Л., Емельянова, И. З. (1965), *Практические работы по химии древесины и целлюлозы*, М., 1965, 411 с.
6. Иванов, А. Н. (1989), *Физико-химические основы технологии приготовления льнотресты: дисс. ... докт. техн. наук*, Кострома, 1989, 535 с.
7. Усов, А. И., Яроцкий, С. В. (1974), Раздельное определение гексоз и пентоз при помощи о-толуидинового реагента, *Известия АН СССР. Серия химическая*, 1974, № 4, С. 877–880.
8. Кокшаров, С. А., Алеева, С. В., Скобелева, О. А., Кудряшов, А. Ю. (2011), Полимерный состав трепаного льняного волокна селекционных сортов льна-долгунца «Зарянка» и «Могилевский-2», *Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология*, 2011, Т. 54, № 6, С. 93–96.
9. Алеева, С. В. (2014), *Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов: дисс. ... докт. техн. наук*, Иваново, 2014, 396 с.
3. Xueyun Zheng, Yimin Zhang, Xiaoxiao Liu, Cheng Li, Ying Lin and Shuli Liang (2020), High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From Bacillus sp. RN1 in Pichia pastoris With Potential in Ramie Degumming, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020, Vol. 8, article 850, available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00850/full>. (Accessed: 25 October 2022).
3. Xueyun Zheng, Yimin Zhang, Xiaoxiao Liu, Cheng Li, Ying Lin and Shuli Liang (2020), High-Level Expression and Biochemical Properties of A Thermo-Alkaline Pectate Lyase From Bacillus sp. RN1 in Pichia pastoris With Potential in Ramie Degumming, *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 2020, Vol. 8, article 850, available at: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00850/full>.
4. Miller, G. L. (1959), Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, *Anal. Chem.*, 31(3), pp. 426–428.
5. Obolenskaja, A. V., Shhegolev, V. P., Akim, G. L., Akim, Je. L., Kossovich, N. L., Emel'janova, I. Z. (1965), *Prakticheskie raboty po himii drevesiny i celljulozy* [Practical works on wood chemistry and cellulose], М., 1965, 411 p.
6. Ivanov, A. N. (1989), *Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii prigotovlenija l'notresty* [Physical-chemical foundations of preparing rotted straw]: dissertation for doctor of technical science, Kostroma, 1989, 535 p.
7. Usov, A. I., Jarockij, S. V. (1974), *Separate determinations of hexoses and pentoses with the help of an o-toluidine reagent* [Razdel'noe opredelenie geksoz i pentoz pri pomoshhi o-toluidi-novogo reagenta], *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Chemical series – Izvestija AN SSSR. Serija himicheskaja*, 1974, № 4, pp. 877–880.
8. Koksharov, S. A., Aleeva, S. V., Skobeleva, O. A., Kudryashov, A. Yu. (2011), *Polymer composition of scutched flax fiber of varieties of long-fibred flax "Zaryanka" and "Mogilev-2"* [Polimernyj sostav trepanogo l'njanogo volokna selekcionnyh sortov l'na-dolgunca "Zarjanka" i "Mogilevskij-2"], *News of higher educational institutions. Series: chemistry and chemical technology – Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Serija: himija i*

himicheskaja tehnologija, 2011, Vol. 54, № 6, pp. 93–96.

9. Aleeva, S. V. (2014), *Metodologicheskie osnovy sovershenstvovanija processov biohimicheskoj modifikacii l'njanyh tekstil'nyh materialov* [Methodological foundations of improving the processes of biochemical modification of linen textile materials]: dissertation for doctor of technical science, Ivanovo, 2014, 396 p.

Статья поступила в редакцию 31. 10. 2022 г.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА КОЖ ИЗ ШКУР СТРАУСА

PRODUCTION TECHNOLOGY AND QUALITY ASSESSMENT OF OSTRICH SKINS

УДК 675.02 + 675.017

Р.Н. Томашева^{1*}; И.В. Карелина²

¹Витебский государственный технологический университет

²Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-104-118>

R. Tomasheva^{1*}; I. Karelina²

¹Vitebsk State Technological University

²Unitary Production Enterprise "Vitebsk Fur Combine"

РЕФЕРАТ

ШКУРА СТРАУСА, КОЖЕВЕННЫЙ ПОЛУФАБРИКАТ, ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ, КРАСИЛЬНО-ЖИРОВАЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ХИМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Объектом исследования являются кожи и кожевенные полуфабрикаты, вырабатываемые из шкур крупного рогатого скота и страуса. Предметом исследования являются технологические процессы кожевенного производства. Цель работы – освоение и промышленная апробация технологии производства и оценка качества кож из шкур страуса.

В работе представлены результаты освоения и промышленной апробации технологии выделки шкур страуса в циклах отмочно-зольных, дубильных и красильно-жировальных процессов. Проведена оценка качества выполнения и выбор рациональной технологии красильно-жировальных процессов обработки дубленого полуфабриката из шкур страуса. Исследованы физико-механические свойства полученных кож из шкур страуса на предмет их технологической пригодности и соответствия требованиям нормативно-технической документации, выполнен их сравнительный анализ со свойствами кож из шкур крупного рогатого скота, полученных по аналогичной технологии обработки. Установлено, что обработка шкур страуса по апробируемой технологии обеспечивает необходимое качество выполнения красильно-жировальных процессов

ABSTRACT

OSTRICH SKIN, SEMI-FINISHED LEATHER, PROCESSING TECHNOLOGY, DYEING AND FAT PROCESSES, TECHNOLOGICAL PARAMETERS, CHEMICAL MATERIALS, QUALITY ASSESSMENT, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

The article deals with the development and industrial testing of production technology and quality assessment of ostrich skins. The technology of dressing ostrich skins in the cycles of soaking-ash, tanning and dyeing-fat processes has been worked out in production conditions. The evaluation of the quality of execution and the choice of rational technology of dyeing and fat processing processes of semi-finished products from ostrich skins was carried out. The physical-mechanical properties of the leather produced from ostrich skins were investigated for their technological suitability and compliance with the requirements of regulatory and technical documentation, their comparative analysis with the properties of leather produced from cattle skins by similar processing technology was performed.

It is discovered that the processing of ostrich skins according to the tested technology provides the necessary quality of the dye-fat processes and allows you to obtain leather that is not inferior in physical and mechanical properties to leather from traditional raw materials. The industrial use of the technology for the production of ostrich leather will contribute to the diversification of production, including the production of leather from non-traditional types of leather raw materials, and will allow making

* E-mail: torin.75@yandex.ru (R. Tomashava)

и позволяет получить кожи, не уступающие по физико-механическим свойствам козам из традиционных видов сырья. По результатам работы разработаны рекомендации по проведению технологических процессов выделки шкур страуса в условиях УПП «Витебский меховой комбинат» с учетом особенностей обрабатываемого сырья и технической оснащенности предприятия.

Промышленное использование технологии выработки кож из шкур страуса будет способствовать решению актуальной для предприятия проблемы диверсификации производства, позволит расширить видовой ассортимент выпускаемой продукции за счет выпуска кож из нетрадиционных видов кожевенного сырья и получить дополнительный объем прибыли от производства и реализации новой продукции, пользующейся спросом на рынке.

additional profit from the production and sale of new products that are in demand on the market.

В условиях динамично развивающихся рыночных отношений диверсификация производства и расширение номенклатуры выпускаемых материалов являются приоритетными направлениями развития кожевенных предприятий Республики Беларусь. Одной из возможностей расширения видового ассортимента выпускаемых отечественной промышленностью кож является освоение технологий переработки новых, нетрадиционных для Республики Беларусь, видов кожевенного сырья, в том числе шкур экзотических видов животных, обладающих оригинальным внешним видом и позволяющих изготавливать изделия с высокими конкурентными свойствами.

К числу таких редких и ценных видов кож относят кожи, вырабатываемые из шкур черного африканского страуса, получившие широкое признание в индустрии моды благодаря своему уникальному внешнему виду, эластичности, высокой прочности и износостойкости.

Промышленное разведение страусов началось около 150 лет назад в Южной Африке. К настоящему времени страусиные фермы помимо Африки широко распространены в Америке, Австралии и странах западной и центральной Европы. В последние десятилетия страусоводство также активно осваивается в России и странах

Центральной Азии [1]. Определенный опыт выращивания и разведения африканских страусов накоплен и в Республике Беларусь. Начиная с 2002 г. на территории страны организованы несколько страусиных ферм, что обеспечивает наличие отечественной сырьевой базы данного вида кожевенного сырья, создает предпосылки к его промышленной переработке и использованию для производства эксклюзивных изделий из кожи: обуви, аксессуаров, одежды и отделки мебели.

Шкуры страуса имеют своеобразный внешний вид и отличаются от других видов кожевенного сырья топографическими участками, конфигурацией и физико-химическими свойствами. Уникальность коже страуса придает характерный рельефный рисунок на лицевой поверхности, образованный за счет крупных фолликул от перьев, что требует специальной технологии выделки. Топографические участки кожи из шкур страуса и фактура лицевой поверхности представлены на рисунке 1.

После съема с туши птиц шкура страуса состоит из трех частей: туловища и двух голеней, которые отличаются по структуре кожной ткани, толщине, площади и внешнему виду. Основное практическое применение при изготовлении изделий из кожи находят шкуры с туловища



Рисунок 1 – Кожа из шкур страуса: а – конфигурация участков кожи из туловища страуса, б – конфигурация участков кожи из голени страуса, в – фактура лицевой поверхности кожи

страуса. Они отличаются высоким содержанием жира в горизонтальных волокнистых слоях дермы, утолщением кожной ткани под перьевыми фолликулами, рельефностью текстуры лицевого слоя, что затрудняет процесс мездрения кожной ткани, ведет к механическим и бактериологическим повреждениям, усложняет процессы дубления и крашения [2]. Шкуры с голенью страуса по внешнему виду напоминают кожу рептилий, отличаются незначительными размерами, обладают вытянутой формой с зауженной нижней частью и находят ограниченное применение в промышленности, как правило, при изготовлении изделий мелкой кожгалантереи.

Уникальность рельефной текстуры поверхности, топографии, микроструктуры и химического состава шкур страуса обуславливают специальные подходы к технологии их обработки и подбору технологического оборудования. Традиционно самый высокий уровень качества технологической обработки шкур страуса достигнут южноафриканскими специалистами. Однако производители неохотно делятся опытом переработки данного вида сырья, в большинстве случаев особенности технологической обработки шкур носят характер коммерческой тайны и имеют ограниченный доступ к информации.

Анализ литературных данных по изучаемой проблематике показал наличие ограниченного количества работ, посвященных вопросам изуче-

ния и переработки шкур страуса [2–9]. При этом в ряде источников отмечается отсутствие системного подхода к проблематике переработки и использования продукции страусоводства, недостаточность информации о физических и химических свойствах шкур и кож из страуса, отличительных особенностях, химических компонентах и режимах технологического процесса их выделки. Отдельные наработки в области технологии переработки шкур страуса носят чаще всего опытно-экспериментальный характер и не нашли широкого практического применения в промышленности.

Это обуславливает необходимость комплексного изучения особенностей строения и свойств данного вида кожевенного сырья и разработку эффективных технологических процессов его обработки. Ранее рядом исследований была установлена высокая степень различия в свойствах кож страусов вследствие генетических изменений, обусловленных разными условиями содержания птиц и их возрастом в момент убоя [2]. Поэтому актуальным представляется исследование и адаптация технологических процессов переработки шкур страусов применительно к шкурам птиц, выращиваемых на территории Республики Беларусь.

Учитывая это, целью данной работы является отработка в производственных условиях технологии выделки и оценка качества кож из шкур

страусов, выращенных на территории Республики Беларусь.

В рамках поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- отработка и производственная апробация технологии выделки шкур страуса в цикле отмочно-зольных и дубильных процессов на предмет совместимости применяемых химических материалов, технологических процессов и оборудования, рациональности технологических режимов обработки и пр.;

- технологическая апробация, оценка качества выполнения и выбор рациональной технологии красильно-жировальных процессов обработки дубленого полуфабриката вет-блю из шкур страуса, обеспечивающей наилучшее качество получаемых кож;

- исследование и сравнительный анализ физико-механических свойств полученных кож из шкур страуса на предмет их технологической пригодности и соответствия требованиям нормативно-технической документации;

- разработка рекомендаций по проведению технологических процессов выделки шкур страуса в условиях УПП «Витебский меховой комбинат» с учетом особенностей обрабатываемого сырья и технической оснащенности предприятия.

Для решения поставленных задач в работе

использовались известные инструментальные и аналитические методы и средства исследования. Экспериментальные исследования проводились в лабораториях УО «ВГТУ» и в производственных условиях УПП «Витебский меховой комбинат» (г. Витебск).

В качестве объектов исследования использовались шкуры страуса мокросоленого способа консервирования (страна происхождения – Республика Беларусь). В производственных условиях УПП «Витебский меховой комбинат» была обработана экспериментально-опытная партия шкур страусов в количестве 50 шкур. Возраст птиц при забое составлял 12–14 месяцев. Шкуры страуса поступали на экспериментальную обработку в виде комплекта из трех частей: туловища и 2-х голеней. Масса одного комплекта частей шкур составляла 4–6 кг. Масса частей шкур определялась на аналитических весах с точностью до 0,005 г, толщина шкур измерялась при помощи контактного толщиномера с точностью до 0,1 мм. Технологический цикл обработки шкур страуса на стадии подготовительных (отмочно-зольных и преддубильных) и дубильных процессов представлен схемой на рисунке 2.

Технологические параметры выполнения каждой производственной операции представлены в таблице 1. Технологический процесс проводился с применением химических материа-

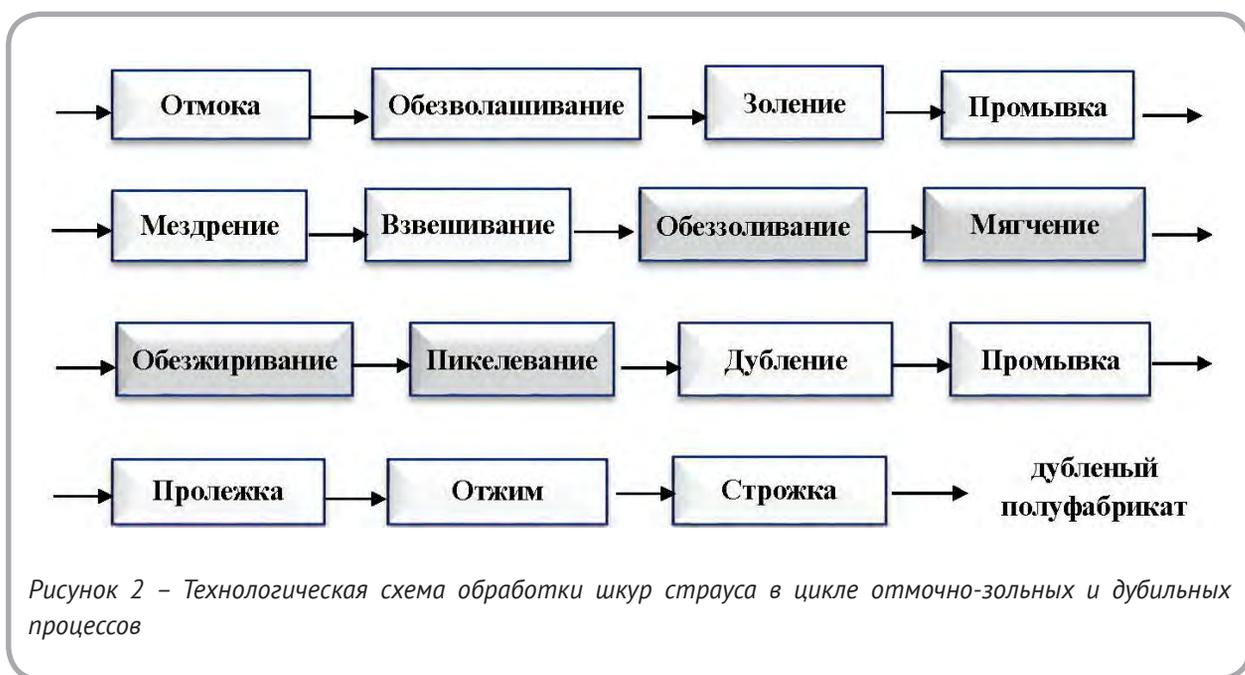


Таблица 1 – Технология отменно-зольных и дубильных процессов выделки шкур страуса

Наименование технологической операции	Расход химических материалов, %	Температура, °С	Химические материалы	Время обработки, мин	Примечание	
Отмока	300	25	Вода			
	3		Соль			
	0,1		Натрий кремнефтористый			
	0,6		СН-ОВ			
	1		СН-РТ			
	0,6		BATERIN SOK			
	0,6		Бикарбонат натрия	60	Проверить отмоку	
	Оставить на ночь. Вращать со скоростью 2 мин/час					
				Слить		
Обезволашивание	300	25	Вода			
			Na ₂ S	90		
			Na ₂ S	180		
Промыть до чистой воды. Слить. Проверить растворение волоса и легкость удаления						
Золение	200	25	Вода			
	0,2		СН-30			
	Вращать 15 мин, оставить на 24 часа, вращая со скоростью 2 мин/час					
Промывка		25	Вода	15		
Мездрение						
Взвешивание						
Обеззоливание	200	30	Вода			
	0,5		Сульфат аммония	30		
			Слить			
	200	30	Вода			
	0,2		СН-30			
	1,5		Сульфат аммония			
	1		Хлорид аммония	45	pH 8,5	
Проверить. Бесцветный срез. Слить						
Мягчение	200	35	Вода			
	0,1		Бикарбонат натрия			
	1,2		BATERIN PB			
	0,1		СН-30	60		
			Слить			
Обезжиривание	150	35	Вода			
	2,5		СН-РТ	90		
	Слить и промыть водой до чистой воды					
Пикелевание	150	25	Вода	10		
	7		Соль			
	1		Edolan BSU	20		
	0,5		Муравьиная кислота	15		
	0,6		Серная кислота	45	pH 2,7–2,8	

Продолжение таблицы 1 – Технология отмочно-зольных и дубильных процессов выделки шкур страуса

Наименование технологической операции	Расход химических материалов, %	Температура, °С	Химические материалы	Время обработки, мин	Примечание
Дубление	4		Хром 42 %		
	1		Edolan BZU	45	
	0,5		Экофикс	20	
	3		Хром 33 %	120	
	1		Формиат натрия	30	
	1		Бикарбонат натрия	300	
	100	50	Вода	120	
	Проверить $pH = 3,8-3,9$, $T=75-80$ °С проба на кипячение				
Промывка			Слить		
	200	25	Вода		
	0,1		Муравьиная кислота	10	
			Слить		
Пролежка 2 дня, отжим и строжка					

лов ф. Техарел (Испания) и ООО «Шебекинская индустриальная химия» (Россия).

Все партионные операции жидкостной обработки сырья выполнялись в подвесных барабанах «Баллери» АВ/130 (Италия) при механическом воздействии (вращении).

Обработка полуфабриката осуществлялась в водной среде при жидкостном коэффициенте, колеблющемся в пределах $J_k = 1,0-3$ в зависимости от выполняемой операции. На каждой стадии технологического цикла контролировались температура обрабатываемой жидкости и уровень pH среды. Необходимые химические материалы добавлялись в барабан последовательно в несколько приёмов с интервалами времени, указанными в таблице 1. Расчет расхода воды и используемых химических материалов осуществляется в % от веса обрабатываемого сырья в соответствии с нормами, установленными в таблице 1.

Поштучные механические операции обработки сырья осуществлялись на мездрильных и строгальных машинах с ножевыми валами по традиционной технологии.

Выделка шкур страуса осуществлялась хромовым методом дубления. Контроль степени продубленности полученного полуфабриката осуществлялся путем определения его темпера-

туры сваривания, которая по результатам замеров составила 80 °С. По завершению процесса выделки была достигнута достаточная и равномерная продубленность полуфабриката по всей площади.

По результатам технологической обработки получали дубленый полуфабрикат вет-блю из шкур страуса, который подвергался дальнейшей технологической обработке в цикле красильно-жировальных процессов отделки.

Так как отсутствуют типовые технологии обработки шкур страуса, то в работе была исследована возможность адаптации технологических схем красильно-жировальных процессов, применяемых при обработке полуфабриката из шкур крупного рогатого скота, к обработке шкур страуса.

Были апробированы два варианта технологии выполнения красильно-жировальных процессов с использованием химических материалов компании Техарел и ООО «Бетахим»:

– Вариант 1 – технология выполнения красильно-жировальных процессов, применяемая при выработке подкладочных кож из шкур крупного рогатого скота. Выбор данного технологического варианта был обусловлен тем, что, как правило, на подкладочную кожу вырабатывается менее качественное кожевенное сырье, более

рыхлое, неравномерное по толщине и плотности в различных топографических участках, со значительным количеством сырьевых пороков. Именно такими отличительными особенностями характеризовался полуфабрикат из шкур страуса, полученный после проведения отмочных и дубильных операций.

– Вариант 2 – технология выполнения красильно-жировальных процессов, применяемая при выработке эластичных кож из крупного рогатого скота и апробированная ранее в условиях УПП «Витебский меховой комбинат» [10].

Технологические схемы и режимы обработки полуфабриката по двум вариантам представлены в таблице 2.

Оба варианта проведения красильно-жировальных процессов реализуются по единой технологической схеме, однако отличаются отдельными технологическими режимами проведения операций, применяемыми химическими материалами, расходом и последовательностью обработки ими полуфабриката.

Общая продолжительность красильно-жировальных процессов без учета операции «верхо-

Таблица 2 – Технология красильно-жировальных процессов обработки полуфабриката из шкур страуса

Наименование технологической операции	Технология красильно-жировальных процессов							
	Вариант 1				Вариант 2			
	Расход химических материалов, %	Температура, pH	Химические материалы	Время обработки, мин	Расход химических материалов, %	Температура, pH	Химические материалы	Время обработки, мин
Промывка	200	40	Вода		200	40	Вода	
	0,5		Deslon NAT	30	0,5		Deslon NAT	20
	0,2	3,7	Муравьиная кислота	20	0,8		Бетанил черный АБ	15
	–	–	–	–	0,5	pH 3,7	Муравьиная кислота	20
	Слить и промыть				Слить и промыть			
Додубливание	100	40	Вода		150	40	Вода	
	1		Бетанил черный АБ	10	0,2	pH 3,3	Муравьиная кислота	15
	1,5		Retalin PF	15	1,5		Retalin PF	15
	1		Retalin TN/2	15	1		Retalin TN/2	15
	2		Repolan ACN	45	2		Repolan ACN	45
	4		Retalin HN/2		4		Retalin HN/2	
	3	pH 4,2	Edolan BSD-G	60	3	pH 4,2	Edolan BSD-G	60
	1		Формиат натрия	20	3		Формиат натрия	20
Слить и промыть				Слить и промыть				
Нейтрализация	150	35	Вода		150	35	Вода	
	2		Формиат натрия		2		Формиат натрия	
	1		Retalin SN/2	20	1		Retalin SN/2	20
	1		Odinoil FF	10	1		Odinoil FF	10
	2	pH 5,3	Бикарбонат натрия	45	1,2	pH 5,3	Бикарбонат натрия	45
	–	–	–	–	2		Repolan AR	45
	Слить и промыть				Слить и промыть			

Продолжение таблицы 2 – Технология красильно-жировальных процессов обработки полуфабриката из шкур страуса

Наименование технологической операции	Технология красильно-жировальных процессов							
	Вариант 1				Вариант 2			
	Расход химических материалов, %	Температура, pH	Химические материалы	Время обработки, мин	Расход химических материалов, %	Температура, pH	Химические материалы	Время обработки, мин
Додубливание+ крашение + жирование	80	35	Вода		80	35	Вода	
	0,15	pH 5,9	Кальцинированная сода	10	0,15	pH 5,9	Кальцинированная сода	10
	0,5		Odinoil FF	10	3		Repolan AR	
	3		Retalin OS/2		3		Repolan 2A	40
	3		Retalin DLE/2		0,5		Odinoil FF	10
	0,5		Odinoil FF	10	3		Retalin OS/2	
	2		Retalin D/2		3		Retalin DLE/2	
	2		Retalin R7N	30	0,5		Odinoil FF	10
	1		Retalin TN/2		3		Retalin OS/2	
	2,5	контроль	Бетанил черный АБ	30	3		Retalin DLE/2	
	100	60	Вода		2		Retalin D/2	
	0,4	pH 4,3	Муравьиная кислота	10	2		Retalin R7N	30
	1		Repolan FD/2	15	1		Retalin TN/2	
	4		Odinoil M66		2,5	контроль	Бетанил черный АБ	30
	3		Odinoil BFZ		100	60	Вода	
	3		Odinoil LC	60	0,4	pH 4,3	Муравьиная кислота	10
	2		Repolan AR	30	1		Repolan FD/2	15
	0,5	pH 3,5	Муравьиная кислота	15	4		Odinoil M66	
	1	pH 3,5	Муравьиная кислота	30	3		Odinoil BFZ	
	-	-	-	-	3		Odinoil LC	60
-	-	-	-	2		Repolan AR	30	
-	-	-	-	0,5	pH 3,5	Муравьиная кислота	15	
-	-	-	-	1	pH 3,5	Муравьиная кислота	30	
	Слить и промыть				Слить и промыть			
Верхнее крашение (накрас)	200	60	Вода		200	60	Вода	
	1		Бетанил черный АБ	10	0,6		Бетанил черный АБ	10
	0,6		Муравьиная кислота	10	0,6		Муравьиная кислота	10
	2		Бетанил черный АБ	10	0,3		Bastamol PF	15
	0,5	pH 3,3	Муравьиная кислота	10	0,6		Бетанил черный АБ	10
	1		Telgras T	20	0,5	pH 3,3	Муравьиная кислота	10
	Слить. Промыть				Слить. Промыть			

вое крашение» по варианту 1 составила 9 ч, по варианту 2 – 10,6 ч.

Через 30 минут после добавления в рабочий раствор красителя выполнялся промежуточный контроль качества процесса крашения, по итогам которого принималось решение о целесообразности выполнения заключительной технологической операции «верховое крашение».

После выполнения цикла красильно-жировальных процессов полученный полуфабрикат подвергался физико-механической обработке для удаления излишней влаги, придания необходимых физико-механических свойств и увеличения выхода полуфабриката по площади. Сушильные и механические операции обработки проводились с учетом технической оснащенности сырейно-красильного цеха УПП «Витебский меховой комбинат» по следующей схеме: разбивка 1 → сушка → разбивка 2.

Операции разбивки осуществлялись на платировочной машине PL-1600 (Турция) с целью разглаживания складок и морщин на лицевой поверхности кожи, равномерной растяжки и увеличения выхода кожи по площади.

Для удаления из кожи избыточной влаги, поглощенной в ходе операций жидкостной отделки, применялся конвективный способ сушки кожи в потоке нагретого воздуха в сушильном туннеле DEMAKSAN (Турция). Полуфабрикат в сушиле закреплялся на металлических перфорированных пластинах специальными зажимами в растянутом состоянии во избежание его усадки при сушке. Технологические параметры выполнения операции составляли: температура воздуха в сушильном туннеле $T = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$; скорость движения воздуха – $v = 1\text{--}2 \text{ м/с}$; время сушки $\tau = 2 \text{ ч}$. После выполнения операции осуществлялся контроль влажности полуфабриката, которая должна составлять 18–20 %.

В результате технологической обработки была получена опытная партия кожевенного полуфабриката краст из шкур страуса, который может подвергаться дальнейшим операциям отделки лицевой поверхности с целью придания необходимого товарного вида готовой коже.

Для оценки результативности апробируемых технологий была проведена оценка качества выполнения красильно-жировальных процессов, исследованы физико-механические

свойства полученного полуфабриката и осуществлен анализ их соответствия установленным требованиям и нормам.

Качество выполнения операции крашения оценивалось по комплексу качественных и количественных показателей в соответствии с методиками, описанными в работе [10].

По итогам промежуточного контроля установлено, что при обработке полуфабриката по технологическому варианту 1, качество выполнения красильно-жировальных процессов оказалось неудовлетворительным. Отмечался неглубокий прокрас, а в отдельных участках несквозной прокрас по толщине полуфабриката, неравномерное окрашивание полуфабриката по площади в различных участках, изменение окраски по сравнению с образцом-эталоном. В связи с полученными отрицательными результатами качества выполнения процессов крашения, дальнейшее рассмотрение и апробация технологии по варианту 1 было принято нецелесообразным.

Обработка шкур страуса по технологическому варианту 2, в отличие от первого варианта, в целом дала хорошие результаты. Отмечался достаточно глубокий сквозной прокрас по толщине полуфабриката в большинстве участков кожи. Однако полученный цвет по площади полуфабриката не отличался равномерностью и насыщенностью, имел сероватый оттенок (графита), особенно в центральных частях шкуры с толстой и рыхлой структурой кожной ткани. При визуальной оценке полуфабриката в отдельных небольших по площади участках полуфабриката, обладающих повышенной плотностью кожной ткани (расположение участков схематично отмечено на рисунке 3 а), отмечался несквозной прокрас и несоответствие полученной окраски образцу-эталоно (получался синий оттенок).

С учетом полученных результатов промежуточного контроля качества дополнительно проводилась технологическая операция «верховое крашение (накрас)». В результате выполнения данной технологической операции была достигнута более глубокая, равномерная и насыщенная окраска обрабатываемого полуфабриката, приближенная по оттенку к образцу-эталоно.

Изображения микросрезов из различных топографических участков полуфабриката из шкур страуса, полученного при обработке по техноло-

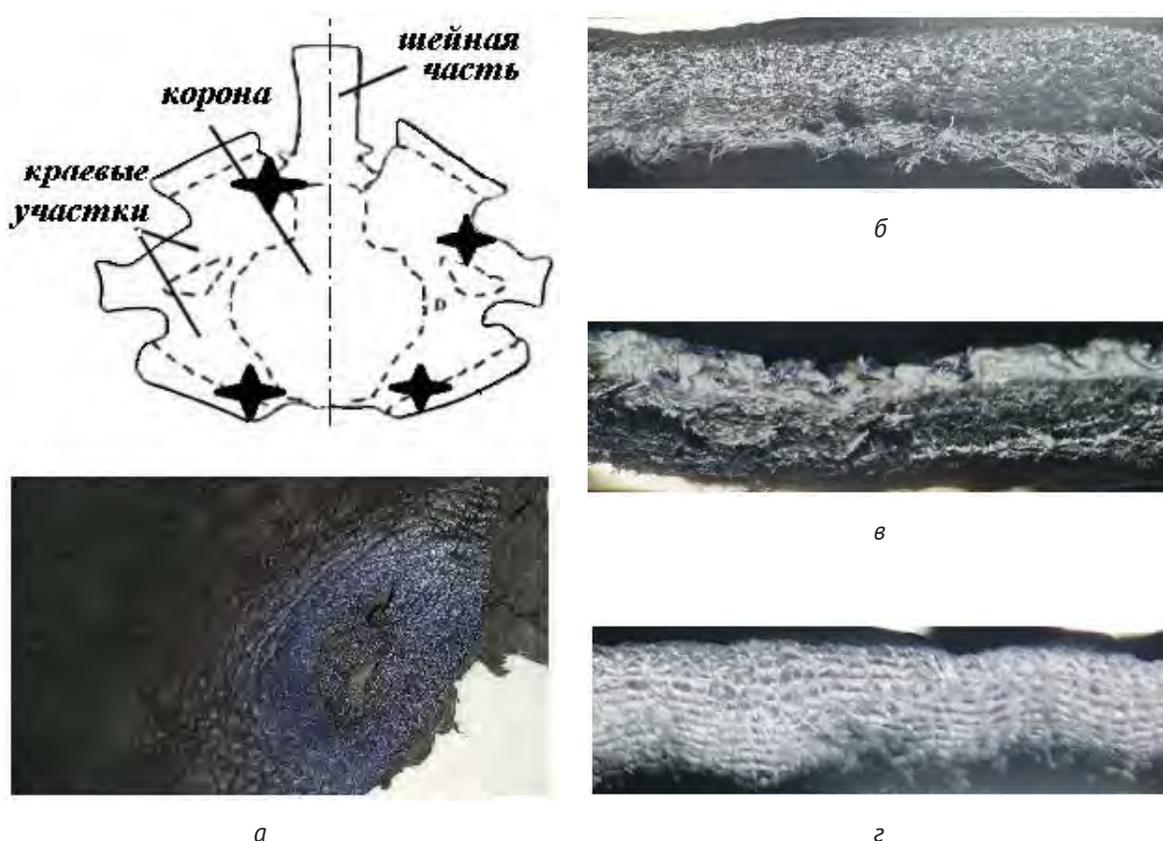


Рисунок 3 – Изображения микросрезов и участков полуфабриката крафт из шкур страуса: а – участки с несвязным прокрасом и отклонением окраски от образца-эталона; б – центральные участки с глубоким прокрасом; в – краевые участки с неглубоким прокрасом кожаной ткани; г – краевые участки непрокрашенные (тонкие участки)

гическому варианту 2, представлены на рисунке 3.

Анализ микросрезов окрашенного полуфабриката показал, что в центральных более толстых и рыхлых участках кожи страуса (корона) достигнут достаточно однородный прокрас кожаной ткани. Глубина прокрашивания полуфабриката превышала 50 % толщины, что соответствует глубокому прокрашиванию. В краевых участках кожи страуса отмечается только поверхностное окрашивание полуфабриката, связанное со спецификой строения кожаной ткани страуса. В участках с плотным сетчатым переплетением пучков коллагеновых волокон краситель глубоко не проникал в толщу полуфабриката.

Результаты испытаний полученного полуфабриката на стойкость к механическим и физико-химическим воздействиям в соответствии с методиками, описанными в работе [10], представлены в таблице 3.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что достигнутая в ходе обработки окраска полуфабриката из шкур страуса устойчива к действию растворителей и каплям воды, к мокрому и сухому трению. Физических изменений наподобие деформационных или потери блеска лицевой поверхности при испытании не отмечалось. По степени стойкости окраски к сухому и мокрому трению полуфабрикат из шкур страуса соответствует требованиям стандартов (в соответствии с ГОСТ 939-94 «Кожа для верха

Таблица 3 – Оценка качества выполнения процессов крашения полуфабриката из шкур страуса

Наименование показателя	Единицы измерения	Критерии оценки показателя	Оценка показателя для полуфабриката
1. Глубина прокрашивания	% от толщины	более 50 % толщины – глубокое прокрашивание; не менее 30 % толщины – среднее прокрашивание; менее 30 % толщины – поверхностное прокрашивание	1. Центральный участок (корона) – глубокое прокрашивание. 2. Промежуточные части, имеющие перьевые фолликулы, – среднее прокрашивание. 3. Краевые участки без перьевых фолликул – поверхностное прокрашивание
2. Устойчивость окраски кожи к трению: – сухому; – мокрому	баллы	от 1 до 5 баллов по шкале серых эталонов: 1 – низшая степень устойчивости окраски, 5 – высшая степень устойчивости окраски	5 4
3. Устойчивость окраски к действию растворителей (бензин, этиловый спирт)	баллы	5 – растворитель не окрашен; 4 – незначительно окрашен; 3 – несколько окрашен; 2 – сильно окрашен; 1 – очень сильно окрашен	4
4. Устойчивость окраски к действию капель воды	-	степень изменения лицевой поверхности полуфабриката после нанесения капель воды и их высыхания	физические изменения лицевой поверхности отсутствуют

обуви. Технические условия» 4 балла – к сухому трению, 3 балла – к мокрому трению).

Механические свойства полученного в ходе выполнения красильно-жировальных процессов полуфабриката из шкур страуса оценивались по стандартной методике испытаний (по ГОСТ 938.11–69 «Кожа. Метод испытания на растяжение») при одноосном растяжении по показателям: прочность, относительное удлинение при разрыве, относительное удлинение при напряжении – 10 *МПа*. Для испытания применялись пробы в форме двухсторонней лопаточки с размерами рабочей зоны 50×10 *мм*. Пробы вырезались из участка кожи, полученного из туловища страуса, в направлениях вдоль и поперек хребтовой линии.

Испытания проводились на универсальной электронной испытательной машине TIME WDW-5 (Китай) с системой компьютерного

контроля за ходом испытания, автоматической фиксацией результатов испытания и записью графиков растяжения материалов. Графики растяжения проб материала представлены на рисунке 4.

Результаты исследования механических свойств полуфабриката из шкур страуса при растяжении, их сравнительный анализ со свойствами полуфабриката из шкур крупного рогатого скота, полученного по аналогичной технологии обработки, а также анализ соответствия полуфабриката требованиям нормативно-технической документации представлены в таблице 4.

В ходе анализа полученных данных установлено, что полуфабрикат из шкур страуса характеризуется высокой прочностью, хорошими деформационными свойствами и удовлетворяет нормативным требованиям, предъявляемым к качеству кож для верха обуви. При этом по срав-

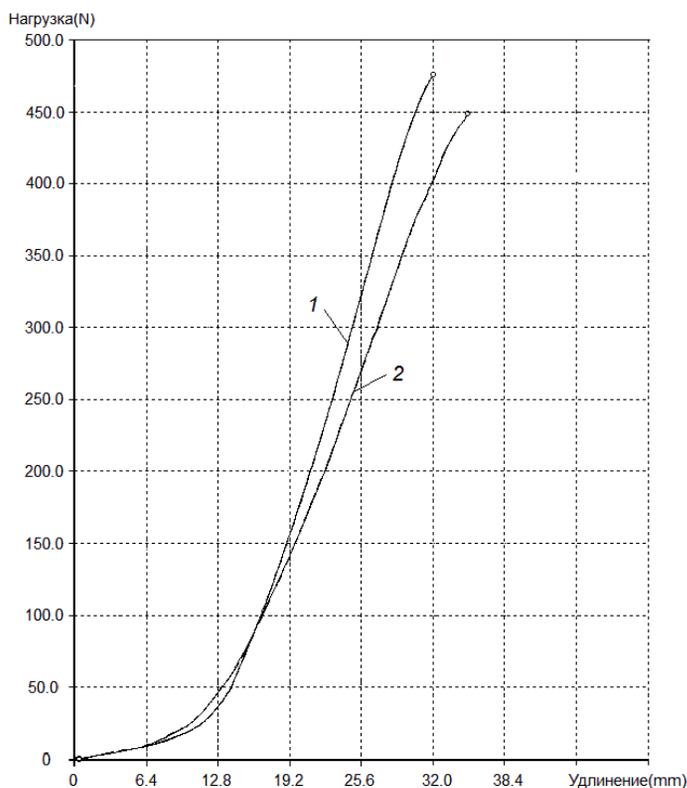


Рисунок 4 – График зависимости усилия – удлинение проб полуфабриката из шкур страуса: 1 – направление вдоль хребтовой линии; 2 – направление поперек хребтовой линии

нению с крастом из шкур крупного рогатого скота, обрабатываемым по аналогичной технологической схеме, отмечается повышенная жесткость полуфабриката из шкур страуса, меньшая наполненность, мягкость и эластичность. Это свидетельствует о целесообразности проведения дополнительных исследований и корректировки технологических параметров выполнения красильно-жировальных процессов обработки.

Для обеспечения более высокого качества полуфабриката рекомендуется оптимизация концентрации используемых химических материалов в обрабатываемых жидкостях, изменение длительности обработки на различных стадиях выполнения красильно-жировальных процессов. Для обеспечения требуемой глубины прокрашивания полуфабриката рекомендуется внесение изменений в режимную технологию проведения отмочно-зольных процессов с целью более существенного разрыхления кожаной

ткани шкур страуса и более эффективного и глубокого проникновения в структуру полуфабриката дубящих, наполняющих, красящих и жирующих веществ.

В целом с учетом полученных в работе результатов можно рекомендовать апробируемую технологию красильно-жировальных процессов к промышленному внедрению. Промышленное использование технологии выработки обувного полуфабриката крост из шкур страуса будет способствовать решению актуальной для предприятия проблемы диверсификации производства и рационального использования производственных мощностей, позволит расширить ассортимент выпускаемой продукции за счет выпуска новых видов кож из нетрадиционных видов кожевенного сырья и получить дополнительный объем прибыли от производства и реализации новой продукции, пользующейся спросом на рынке.

Таблица 4 – Физико-механические свойства кожевенных полуфабрикатов из шкур страуса и крупного рогатого скота, обработанных по варианту 2 технологии красильно-жировальных процессов

Наименование показателя	Значение показателя для полуфабриката				Нормы показателей*
	из шкур страуса		из шкур крупного рогатого скота		
	вдоль хребтовой линии	поперек хребтовой линии	вдоль хребтовой линии	поперек хребтовой линии	
1. Толщина, мм	1,7	1,7	1,3	1,3	
2. Предел прочности при растяжении, МПа	28	26	20	19	13, не менее
3. Удлинение при разрыве, %	64	69	68	68	–
4. Удлинение при напряжении 10 МПа , %	39	42	40	42	30–40
5. Жесткость при растяжении 10 МПа , H	431	410	280	220	–
6. Коэффициент равномерности:					
– по пределу прочности;	0,93		0,93		–
– по удлинению при разрыве	0,93		1,0		–

Примечание: * – Нормы показателей установлены в соответствии с НТПА на эластичные кожи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Портал «Страусовод» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://strausowod.ru/country-6.html>. – Дата доступа: 20.10.2022.
2. Сухина, Т. В., Горбачева, М. В., Новиков, М. В. (2014), Полуфабрикат из шкур страуса как материал для кожевенно-обувной промышленности, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2014, № 4, С. 26–29.
3. Сухина, Т. В., Горбачева, М. В., Стрепетова, О. А. (2020), Технология получения кож страуса: безопасность и качество. Кожа и мех в XXI веке: Технология, качество, экология, образование, *Материалы XVI международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 2020*, С. 61–67.

REFERENCES

1. Portal «Strausovod» [Portal "Ostrich Breeder"], available at: <https://strausowod.ru/country-6.html/> (accessed 20 November 2022).
2. Sukhinina, T. V., Gorbacheva, M. V., Novikov, M. V. (2014), Semi-finished product from ostrich skins as a material for the leather and shoe industry, [Polufabrikat iz shkur strausa kak material dlya kozhevenno-obuvnoj promyshlennosti], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost' – Leather and shoe industry*, 2014, № 4, pp. 26–29.
3. Sukhinina, T. V., Gorbacheva, M. V., Strepetova, O. A. (2020), Technology for obtaining ostrich skins: safety and quality. Leather and fur in the XXI century: Technology, quality, ecology, education [Tekhnologiya polucheniya kozh

4. Bostaka, G., Abu, L., Koara, G. (2010), Fundamentals of ostrich skin treatment. ICAMS 2010 [Osnovy obrabotki kozhi strausa. ICAMS 2010], 3rd International Conference on Advanced Materials and Systems, Bucharest, 2010, pp. 241–246.
5. Bitlisli, B., Basharan, B., Sari, O., Aslan, A., Zenkin, G. (2004), Some physico-chemical properties of ostrich skins and skins [Nekotorye fiziko-himicheskie svoystva strausinyh shkur i kozh], *Indian Journal of Chemical Technology*, 2004, Volume 11, pp. 654–658.
6. Сухинина, Т. В., Сапожникова, А. И., Новиков, М. В., Андреева, Е. Г., Петросова, И. А. (2015), Разработка технологической схемы выделки шкур с туловища страуса, *Естественные и технические науки*, 2015, № 8, С. 83–86.
7. Улугмуратов, Д. Ф., Исмагуллаев, И. Н., Гарибян, И. И., Бегалиев, Х. Х., Ахмедов, Б. Б., Фазли, А. (2021), Изучение влияния процесса обезжиривания на процессы красильной и жировой технологии при обработке страусиных шкур, *Международный журнал перспективных научных исследований, Инженерия и технологии*, Том 8, выпуск 11, 2021, С. 67–74.
8. Бегалиев, Х. Х., Улугмуратов, Д. Ф. (2020), Применение композиций поверхностно-активных веществ для обезжиривания шкур страуса, *Universum: технические науки: научный журнал*, 2020, № 10 (79), Часть 2, С. 9–12.
9. Улугмуратов, Д. Ф., Бегалиев, Х. Х., Ахмедов, Б. Б., Беденко, В. Г., Зулин, Б. Д., Бакулин, Л. А. (2020), Исследование технологии выделки шкур страуса с применением экологически безопасных ПАВ в процессе обезжиривания. Кожа и мех в XXI веке: Технология, качество, экология, образование, *Материалы XVI международной научно-практической конференции*, Улан-Удэ, 2020, С. 109–115.
10. Томашева, Р. Н., Филипович, И. В. (2022), Разработка технологии и оценка качества выстрауса: bezopasnost' i kachestvo. Kozha i mekh v HKHI veke: Tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovani], *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*, Ulan-Ude, 2020, pp. 61–67.
4. Bostaka, G., Abu, L., Koara, G. (2010), Fundamentals of ostrich skin treatment. ICAMS 2010 [Osnovy obrabotki kozhi strausa. ICAMS 2010], 3rd International Conference on Advanced Materials and Systems, Bucharest, 2010, pp. 241–246.
5. Bitlisli, B., Basharan, B., Sari, O., Aslan, A., Zenkin, G. (2004), Some physico-chemical properties of ostrich skins and skins [Nekotorye fiziko-himicheskie svoystva strausinyh shkur i kozh], *Indian Journal of Chemical Technology*, 2004, Volume 11, pp. 654–658.
6. Sukhinina, T. V., Sapozhnikova, A. I., Novikov, M. V., Andreeva, E. G., Petrosova, I. A. (2015), Development of a technological scheme for dressing skins from the body of an ostrich [Razrabotka tekhnologicheskoy skhemy vydelki shkur s tulovishcha strausa], *Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Natural and Technical Sciences*, 2015, № 8, pp. 83–86.
7. Ulugmuratov, D. F., Ismatullaev, I. N., Garibyan, I. I., Begaliev, H. H., Akhmedov, B. B., Fazli, A. (2021), Study of the effect of the degreasing process on the processes of dyeing and fat technology in the processing of ostrich skins [Izuchenie vliyaniya processa obezhirivaniya na processy krasil'noj i zhirovoj tekhnologii pri obrabotke strausinyh shkur], *International Journal of Advanced Scientific Research, Engineering and Technology*, Volume 8, Issue 11, 2021, pp. 67–74.
8. Begaliev, H. H., Ulugmuratov, D. F. (2020), The use of compositions of surfactants for degreasing ostrich skins [Primenenie kompozicij poverhnostno-aktivnyh veshchestv dlya obezhirivaniya shkur strausa], *Universum: Technical Sciences: Scientific Journal*, 2020, № 10 (79), Part 2, pp. 9–12.

полнения красильно-жировальных процессов при выработке кож из шкур крупного рогатого скота, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, выпуск № 1 (42), С. 125–138.

9. Ulugmuratov, D. F., Begaliev, H. H., Akhmedov, B. B., Bedenko, V. G., Zulin, B. D., Bakulin, L. A. (2020), Research of technology of dressing ostrich skins with the use of environmentally friendly surfactants in the process of degreasing. *Leather and fur in the XXI century: Technology, quality, ecology, education [Issledovanie tekhnologii vydelki shkur strausa s primeneniem ekologicheski bezopasnyh PAV v processe obezzhirivaniya. Kozha i mekh v HKHI veke: Tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovanie]*, *Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference*, Ulan-Ude, 2020, pp. 109–115.
10. Tomasheva, R. N., Filippovich, I. V. (2022), Technology and evaluation of the quality of the performance of dyeing and fat processes in the production of skins from cattle hides, [Razrabotka tekhnologii i ocenka kachestva vypolneniya krasil'no-zhiroval'nyh processov pri vyrabotke kozh iz shkur krupnogo rogatogo skota], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 1 (42), pp. 125–138.

Статья поступила в редакцию 01. 11. 2022 г.

СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНООБРАЗУЮЩЕГО СОПОЛИМЕРА АКРИЛОНИТРИЛА И 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТЫ

SORPTION ACTIVITY OF MATERIALS BASED ON A FIBER-FORMING COPOLYMER OF ACRYLONITRILE AND 2-ACRYLAMID-2-METHYLPROPANESULFONIC ACID

УДК 546.47:66.081.3

**В.М. Чикунская*, Л.А. Щербина,
В.А. Огородников, И.А. Будкоте**

*Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-119-125>

**V. Chykunskaya*, L. Shcherbina, V. Ogorodnikov,
I. Budkute**

*Belarusian State University of Food
and Chemical Technologies*

РЕФЕРАТ

АКРИЛОНИТРИЛ, 2-АКРИЛАМИД-2-МЕТИЛПРОПАНСУЛЬФОКИСЛОТА, СОПОЛИМЕР, ИОНИТ, ВОЛОКНО, СОРБЦИЯ, ОБМЕННАЯ ЕМКОСТЬ, ИОНЫ ЦИНКА

Обобщены результаты исследований процесса гомофазного синтеза сополимера на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты, синтезированного при содержании кислотного сомономера в реакционной смеси 30 % (от массы мономеров) в 51,5 %-м водном растворе роданида натрия. На его основе получены волокнистые и гранулированные ионообменные материалы и изучена их сорбционная активность. Методом кислотно-основного титрования определена его статическая обменная емкость (СОЕ), которая составила 1,40 ммоль-экв/г. Методом комплексонометрического титрования получены данные о динамике сорбции ионитом ионов цинка из растворов $ZnSO_4$ в диапазоне концентраций 0,001–0,1 моль-экв/дм³. Приведены динамические характеристики сорбции ионов цинка ионитом в H^+ и Na^+ -формах. Отмечено затруднение работы с материалами, содержащими более 30 % (от массы мономеров) кислотного сомономера, ввиду сильного набухания образца.

ABSTRACT

ACRYLONITRILE, 2-ACRYLAMID-2-METHYLPROPANESULFONIC ACID, COPOLYMER, IONITE, FIBER, SORPTION, EXCHANGE CAPACITY, ZINC IONS

The article summarizes results of studies of homophase synthesis of a copolymer based on acrylonitrile and 2-acrylamid-2-methylpropanesulfonic acid synthesized with an acidic comonomer content in a reaction mixture of 30 % (by weight of monomers) in a 51.5 % aqueous solution of sodium thiocyanate. On its basis, fibrous and granular ion-exchange materials were produced and their sorption activity was studied. By the method of acid-base titration, its static exchange capacity (SOE) was determined, which amounted to 1.40 mmol-eq/g. Complexometric titration was used to produce data on the dynamics of sorption of zinc ions by ionite from $ZnSO_4$ solutions in the concentration range of 0.001–0.1 mol-eq/dm³. The dynamic characteristics of the sorption of zinc ions by the ion exchanger in H^+ and Na^+ -forms are given. It is noted that it is difficult to work with materials containing more than 30 % (by weight of monomers) of the acidic comonomer, due to the strong swelling of the sample.

* E-mail: chikunskaiav_m@mail.ru (V. Chykunskaya)

Ионогенные высокомолекулярные соединения находят широкое применение при создании материалов, используемых в водоподготовке, очистке промышленных стоков и газообразных выбросов, добыче, сборе, рециклинге и разделении ценных металлов, в производстве и очистке фармакологических препаратов и других неорганических и органических веществ, как компоненты электролитических ячеек и субстратов для иммобилизации и культивирования клеточных культур и растений в биотехнологических процессах [1–5]. При этом эффективность применения таких материалов определяется не только химической природой их полимерной основы, но и их морфологией и геометрией. Чем больше удельная поверхность, тем выше доступность функциональных групп и выше динамические показатели ионитов. Поэтому разработка ионогенных сополимеров и получение на их основе волокнистых материалов с приемлемыми сорбционными, физико-механическими и другими эксплуатационными характеристиками является актуальной научно-практической задачей. Одним из перспективных направлений является разработка сорбционно-активных материалов на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила [6]. Материалы на основе сополимеров акрилонитрила (АН) и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты (АМПС) обладают ионообменными свойствами. Причем по мере увеличения содержания кислотного сомономера расчетное значение статической обменной емкости увеличивается.

В частности, целью настоящей работы являлось продолжение исследований по созданию и анализу свойств ионообменных материалов на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила (АН) и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты (АМПС).

За основу условий проведения процесса синтеза ионогенного сополимера был взят технологический процесс, реализуемый при производстве полиакрилонитрильных (ПАН) волокон по водно-роданидному методу. Сополимеры на основе АН и АМПС синтезировали методом гомофазного свободно-радикального синтеза в водном растворе роданида натрия (ВРРН) при 80 °С и pH 5±0,1. В качестве инициатора полимеризации использовали динитрил азобисизо-

масляную кислоту. Исходная реакционная смесь содержала (на 100 г смеси): мономеров (АН и АМПС) – 23 г, азобисизобутиронитрила – 0,035 г, изопропилового спирта – 0,8 г, диоксида тиомочевины – 0,10 г, а также 51 %-го ВРРН – до общей массы 100 г. Содержание АМПС в исходной реакционной смеси составило 30 % от массы мономеров. Синтез поли[АН(70)–со–АМПС(30)] осуществляли с использованием установки, физически моделирующей работу промышленного реактора (рисунок 1).

Максимальная продолжительность синтеза составила 270 минут. Дальнейшее проведение синтеза было осложнено возрастанием вязкости реакционной среды вследствие накопления в ней сополимера. Конверсия мономеров при этом составила 65 %, что является очень хорошим технико-экономическим показателем при реализации производственного процесса. Далее ионогенный сополимер высаживали из реакционной массы в 5 % водный раствор соляной кислоты, многократно промывали и сушили. Формирование гранулированных ионитов осуществляли по авторской методике [7]. Для создания ионообменного волокнистого материала готовили прядильный раствор в диметилформамиде (ДМФ). Формование волокна проводили «мокрым» методом на лабораторной малой прядильной установке (рисунок 2), представляющей собой агрегат, включающий узел дозировки прядильного раствора – механизм толкателя (2, 3, 4), механизм галет (10, 11, 14, 15), механизм приема нити (16, 17, 18). Процесс нитеобразования происходил в ванне 6, а пластификационное вытягивание – в ванне 12. Для формования волокна с линейной плотностью 0,33 текс применяли прядильный раствор, содержащий 18 % ионогенного сополимера. В качестве осадительной ванны использовали 5 % водный раствор серной кислоты с температурой 20±2 °С. Пластификационной ванной являлся 1 % водный раствор серной кислоты при температуре 60 °С. Кратность пластификационного вытягивания составляла 5. Промывку волокна от ДМФ осуществляли в дистиллированной воде при температуре 20±3 °С. Скорость приема волокна на паковку составляла 5 м/мин.

Методом кислотно-основного титрования определена статическая обменная емкость (СОЕ)

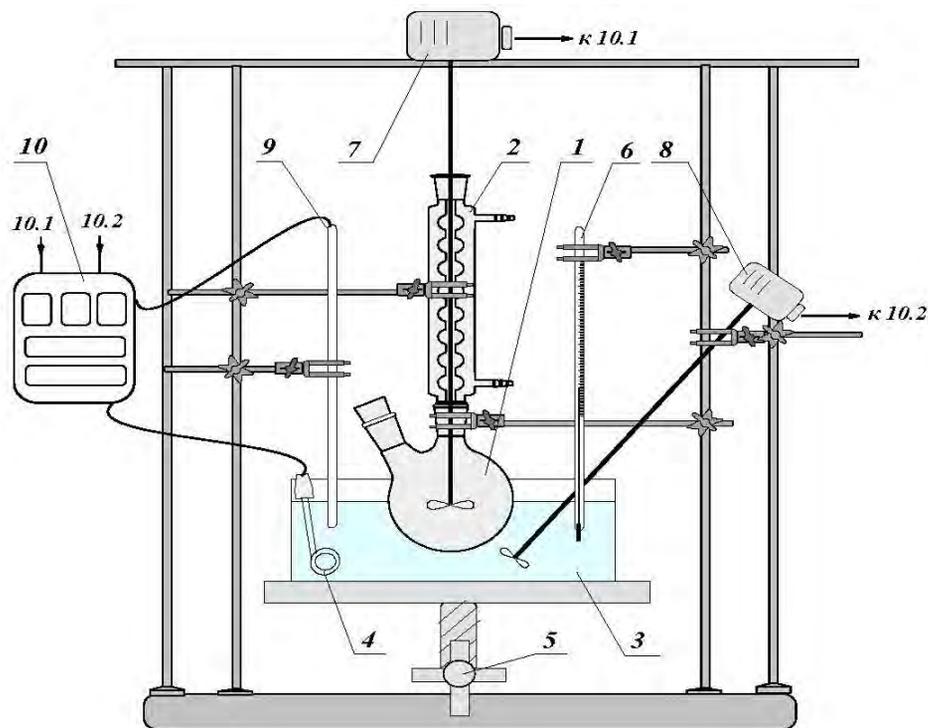


Рисунок 1– Схема установки для проведения полимеризации: 1 – реактор; 2 – обратный холодильник; 3 – термостат; 4 – нагревательный элемент; 5 – подъемный механизм термостата; 6 – контрольный термометр; 7 – привод мешалки ректора; 8 – привод мешалки термостата; 9 – датчик температуры; 10 – блок управления термостатом и приводами мешалок

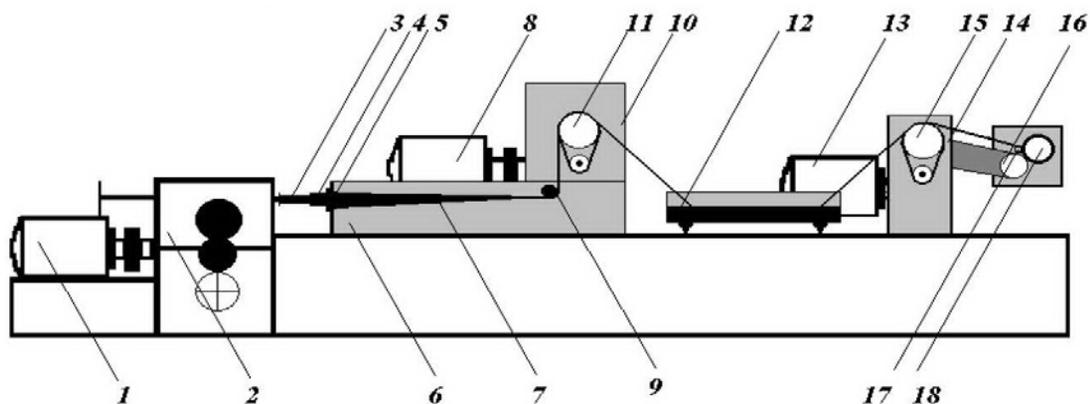


Рисунок 2 – Лабораторная прядильная установка: 1, 8, 13 – электродвигатели 4AA500A4; 2, 10, 14 – редукторы; 3 – шток; 4 – шприц; 5 – фильера; 6 – корыто осадительной ванны; 7 – формируемое волокно; 9 – нитепроводник; 11, 15 – вытяжная пара галет; 12 – ванна пластификационного вытягивания; 16 – фрикцион; 17 – нитеводитель; 18 – бобина с волокном

полученных ионитов, которая составила 1,40 *ммоль-экв/г*. Исследование сорбционно-активных свойств ионообменных материалов проводили в динамическом режиме. Для этого через колонку с ионообменным материалом, находящимся в геле-состоянии, в H^+ - или Na^+ -форме, пропускали раствор сульфата цинка с постоянной скоростью (5,0 *см³/мин*), которую задавали с помощью перистальтического насоса и контролировали по расходомеру. Количество сорбированного цинка устанавливали методом графического интегрирования выходных кривых сорбции, анализируя концентрацию ионов цинка в растворе на входе в ионообменную колонку (C_0) и выходе из неё (C).

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что волокнистые материалы более активно, по сравнению с гранулированными ионитами, сорбируют ионы цинка (таблица 1). Количество сорбируемого цинка превышает теоретическое значение COE по сульфогруппам, что, вероятно, объясняется взаимодействием ионов цинка с азотсодержащими группами полимерного субстрата по донорно-акцепторному механизму.

Сопоставление сорбционной активности материалов на основе поли[АН-со-АМПС] в водородной и натриевой формах показало, что на всех этапах ионообменного процесса количество ионов цинка, сорбированных Na^+ -формой материала, меньше, чем в экспериментах с использованием материалов в H^+ -форме, вследствие того, что ионы Na^+ конкурируют с ионами Zn^{2+} в процессе сорбции. Данный эффект пред-

ставлен на рисунке 3 и таблице 2.

Особенности поведения материалов на основе поли[АН-со-АМПС] в процессах ионного обмена представляют существенный интерес, в частности, для создания ионообменных сорбентов, селективных по отношению к катионам d-металлов.

Исследование сорбции ионов Zn^{2+} из растворов сульфата цинка различных концентраций в динамическом режиме показало, что при высоком содержании ионов цинка в растворе (0,1 *ммоль-экв/дм³*) волокнистый ионит достаточно быстро насыщается цинком. Уже при $C/C_0 = 0,05$ количество сорбированного цинка составляет 67 % от COE по сульфогруппам (таблица 3). Максимальное количество сорбированного цинка в результате сверхэквивалентной сорбции в 2,64 раза превышает COE по сульфогруппам. Снижение концентрации ионов цинка в растворе значительно ухудшает динамические характеристики сорбции. Но даже при малом содержании ионов Zn^{2+} (0,001 *ммоль-экв/дм³*) волокнистый материал обладает сверхэквивалентной сорбцией (таблица 3).

Работа с материалами на основе ионогенных сополимеров с большим содержанием АМПС в водных растворах затруднена вследствие сильного их набухания в воде. Кратность набухания образцов поли[АН(70)-со-АМПС(30)] в различных водных средах представлена на рисунке 4. Можно отметить, что наиболее активное набухание полученных ионитов проявляется при отсутствии в воде электролитов.

Таблица 1 – Динамические характеристики сорбции ионов цинка ионитом на основе поли[АН(70)-со-АМПС-Н(30)] из 0,1 N раствора $ZnSO_4$

Тип материала	Динамическая ёмкость по цинку, <i>ммоль-экв/г (мг/г)</i>			Отношение количества сорбированного цинка к COE		
	$^1C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$	$C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$
Волокнистый	0,97 (51,70)	1,90 (101,90)	3,83 (125,30)	0,67	1,31	2,64
Гранулированный	0,06 (1,81)	1,51 (49,27)	3,34 (109,30)	0,04	1,04	2,30

Примечание: здесь и в следующих таблицах $^1C/C_0 = 0$ – активный этап сорбции, когда все ионы цинка задерживаются ионитом; $C/C_0 > 0$ – «проскок», т. е. появление задерживаемых ионов в растворе; $C/C_0 = 0,95$ – завершающий этап сорбции, когда практически все ионы цинка (95 %) остаются в растворе

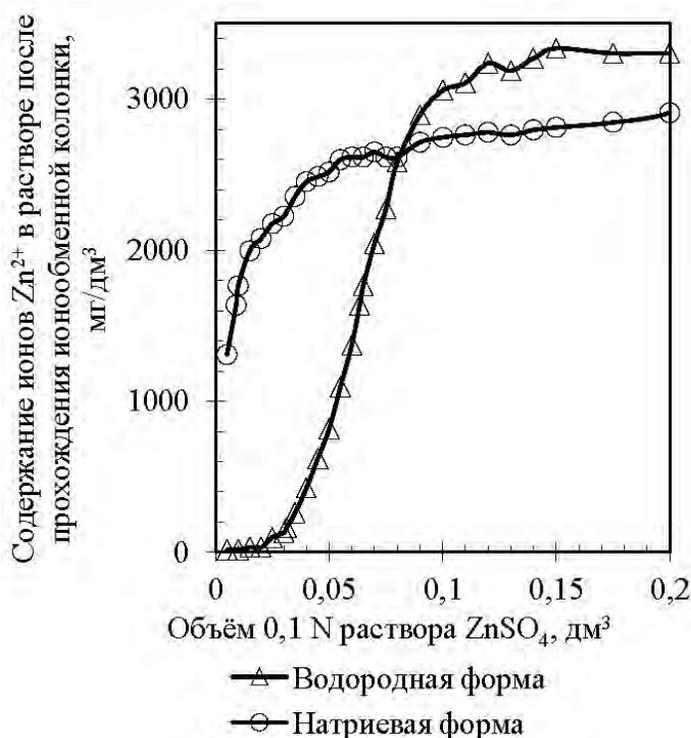


Рисунок 3 – Выходные кривые сорбции ионов Zn^{2+} из 0,1 N раствора $ZnSO_4$ гранулированным ионитом на основе поли[АН(70)–со–АМПС(30)] в H^+ - и Na^+ -формах

Таблица 2 – Динамические характеристики сорбции ионов цинка из 0,1 N раствора $ZnSO_4$ гранулированным ионитом на основе поли[АН(70)–со–АМПС(30)] в H^+ - и Na^+ -формах

Форма материала	Динамическая ёмкость по цинку, ммоль-экв/г (мг/г)			Отношение количества сорбированного цинка к COE		
	$C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$	$C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$
H^+ -форма	0,06 (1,81)	1,51 (49,27)	3,34 (109,30)	0,04	1,04	2,30
Na^+ -форма	0 (0)	0,31 (10,14)	2,38 (77,78)	0	0,21	1,64

Таблица 3 – Динамические характеристики сорбции ионов цинка из раствора $ZnSO_4$ с различной концентрацией волокнистым ионитом на основе поли[АН(70)–со–АМПС-Н(30)]

Концентрация раствора $ZnSO_4$, моль-экв/дм ³	Динамическая ёмкость по цинку, ммоль-экв/г (мг/г)			Отношение количества сорбированного цинка к COE		
	$C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$	$C/C_0 = 0,05$	$C/C_0 = 0,50$	$C/C_0 = 0,95$
0,100	0,97 (51,70)	1,90 (101,90)	3,83 (125,30)	0,67	1,31	2,64
0,001	0 (0)	0,71 (23,10)	2,44 (79,7)	0	0,59	2,03

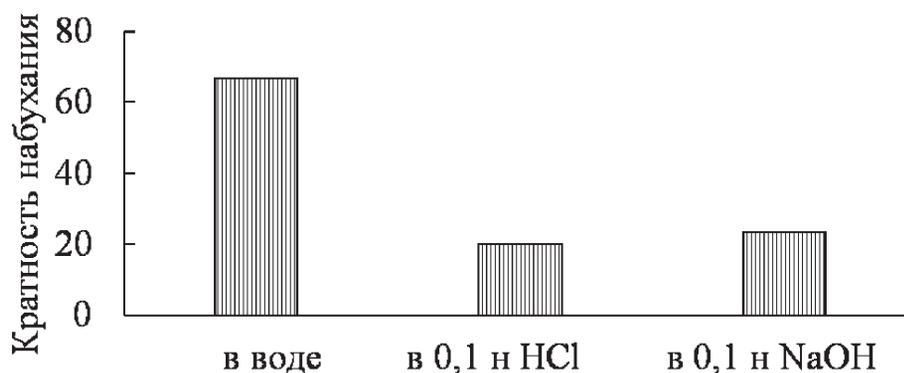


Рисунок 4 – Кратность набухания гранулированных поли[АН(70)–со–АМПС(30)] в различных средах

Показано, что волокнистый ионит, по сравнению с гранулированным, обладает большей динамической емкостью по отношению к ионам цинка. На начальных этапах сорбции количество сорбированных ионов цинка волокнистым материалом составляет 67 % от теоретической СОЕ, гранулированным – всего 4 %. Превышение количества сорбированных волокнистым ионитом ионов Zn^{2+} над теоретическим значением СОЕ при сорбции из раствора $ZnSO_4$ с концентрацией 0,1 *моль-экв/дм³* составляет 2,6 раза, гранулированным ионитом – 2,3 раза. При уменьшении содержания ионов Zn^{2+} в растворе до 0,001 *моль-экв/дм³* это превышение составляет 2,03 раза (в случае волокнистого ионообменника). На примере гранулированных ионитов показано, что при переходе от водородной к натриевой форме ионита превышение количества сорбированных ионов цинка над значением теоретической СОЕ снижается от 2,30 до 1,64, соответственно. Предполагается, что явление сверхэквивалентной сорбции ионитами может

быть вызвано взаимодействием ионов цинка с азотсодержащими группами волокнообразующего ионогенного сополимера по донорно-акцепторному механизму.

Ввиду значительной гидрофильности материалов на основе поли[АН–со–АМПС], дальнейшее увеличение сорбционной емкости ионитов за счет увеличения доли звеньев АМПС возможно только после создания межмолекулярных сшивок в их структуре. Это обеспечит возможность работы с ионообменными материалами, содержащими до 40–90 % (от массы мономеров) АМПС.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23–24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вольф, Л. А. (1971), *Волокна специального назначения*, Москва, 1971, 223 с.

REFERENCES

1. Vol'f, L. A. (1971), *Volokna special'nogo naznacheniya* [Special purpose fibers], Moscow, 1971, 223 p.

2. Вольф, Л. А. (1980), *Волокна с особыми свойствами*, Москва, 1980, 240 с.
 3. Зверев, М. П. (1981), *Хемосорбционные волокна*, Москва, 1981, 191 с.
 4. Салдадзе, К. М., Пашков, А. Б., Титов, В. С. (1960), *Ионообменные высокомолекулярные соединения*, Москва, 1960, 356 с.
 5. Soldatov, V. [et al.] (2004), *New materials and technologies for environmental engineering. Part I. Syntheses and structure of ion exchange fibers*, Lublin, 2004, 127 p.
 6. Chiu, H. T. [et al.] (2011), Fabrication of electro-spun polyacrylonitrile ion-exchange membranes for application in lysozyme, *eXPRESS Polymer Letters*, 2011, Vol. 5, № 4, P. 308–317.
 7. Огородников, В. А., Щербина, Л. А., Чикунская, В. М. (2018), Ионообменные свойства материалов на основе волокнообразующих сополимеров акрилонитрила с различными кислотными сомономерами, *Полимерные материалы и технологии*, 2018, Т. 4, № 1, С. 47–56.
 8. Щербина, Л. А. (2020), Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты, *Химические волокна*, 2020, № 6, С. 24–29.
2. Vol'f, L. A. (1980), *Volokna s osobymi svojstvami* [Fibers with special properties], Moscow, 1980, 240 p.
 3. Zverev, M. P. (1981), *Hemosorbcionnye volokna* [Chemisorption fibers], Moscow, 1981, 191 p.
 4. Saldadze, K. M., Pashkov, A. B., Titov, V. S. (1960), *Ionoobmennye vysokomolekulyarnye soedineniya* [Ion-exchange high-molecular compounds], Moscow, 1960, 356 p.
 5. Soldatov, V. [et al.] (2004), *New materials and technologies for environmental engineering. Part I. Syntheses and structure of ion exchange fibers*, Lublin, 2004, 127 p.
 6. Chiu, H. T. [et al.] (2011), Fabrication of electro-spun polyacrylonitrile ion-exchange membranes for application in lysozyme, *eXPRESS Polymer Letters*, 2011, Vol. 5, № 4, P. 308–317.
 7. Ogorodnikov, V.A. Shcherbina, L.A., Chykunskaya, V. M. (2018), Ion-exchange properties of materials based on fiber-forming copolymers of acrylonitrile with various acidic somonomers [Ionoobmennye svojstva materialov na osnove voloknoobrazuyushchih sopolimerov akrilonitrila s razlichnymi kislotnymi somonomerami], *Polimernye materialy i tekhnologii – Polymer materials and technology*, 2018, Vol. 4, № 1, pp. 47–56.
 8. Shcherbina, L. A. (2020), Synthesis and properties of copolymers based on acrylonitrile and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid [Sintez i svojstva sopolimerov na osnove akrilonitrila i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fo-kisloty], *Himicheskie volokna – Chemical fibers*, 2020, № 6, pp. 24–29.

Статья поступила в редакцию 03. 10. 2022 г.

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОДГОТОВКИ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ К КРАШЕНИЮ**ENERGY-SAVING TECHNOLOGY OF PREPARING COTTON FABRICS FOR DYEING**

УДК 677.014.243

Н.Н. Ясинская*, К.А. Ленко, Ю.И. Марущак*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-126-134>**N. Yasinskaya*, K. Lenko, Yu. Marushchak***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ**

ФЕРМЕНТ, ЩЕЛОЧНАЯ ОТВАРА, БИООТВАРКА, ПРИМЕСИ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА, ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Разработана технология биохимической отварки хлопчатобумажных текстильных материалов, благодаря которой достигается максимальная очистка от сопутствующих примесей с минимальной степенью повреждения волокнообразующего полимера – целлюлозы. Согласно результатам исследования, установлено, что для достижения требуемой степени очистки и придания текстильному материалу гидрофильных свойств, целесообразно применять совмещённый биохимический способ подготовки, состоящий из последовательной обработки ферментными препаратами и классическим щелочным раствором с меньшей концентрацией его составных компонентов. Благодаря применению нетоксичных и биоразлагаемых ферментных препаратов в технологии подготовки хлопчатобумажных текстильных материалов к крашению, возможно уменьшить концентрацию вредных химических реагентов в варочном растворе, сохраняя при этом биополимер волокна, а также создать условия для более полной и глубокой степени очистки от примесей. Таким образом происходит уменьшение концентрации щёлочи в растворе в 2 раза, сокращение продолжительности обработки, а также уменьшение температуры обработки более чем в 2 раза.

ABSTRACT

ENZYME, ALKALINE SCOURING, BIOSCOURING, COTTON FIBER IMPURITIES, ENVIRONMENTALLY FRIENDLY TECHNOLOGIES

The purpose of the work is to develop a bioscouring technology, which results in the maximum purification of cotton fabric from impurities with minimal damage to the fiber-forming polymer. As a result of the research, it was found that in order to achieve the required degree of purification from impurities and maximum wettability, it is advisable to use combined biochemical methods of preparation, consisting of sequential treatment with enzyme preparations and a traditional alkaline scouring solution at low concentrations of its constituent components. Thanks to the use of non-toxic biodegradable enzymes in the technology of preparing cotton textile materials for dyeing, it is possible to reduce the concentration of traditional liquid reagents by further loosening the fiber structure and creating conditions for a deeper and more complete removal of impurities. Thus, there is a reduction in the concentration of NaOH by 2 times, a reduction in the duration of treatment in an alkaline solution, as well as exposure to high temperature by more than 2 times.

* E-mail: yasinskaynn@rambler.ru (N. Yasinskaya)

INTRODUCTION

As it is known, before coloring and final finishing, textile materials go through a preparation stage, which includes desizing, scouring and bleaching. As a result of scouring, 7–12 % of impurities of non-cellulose origin accompanying cellulose (waxy, pectin, ash, etc.) are removed, due to which there is an increase in capillary properties and a uniform sorption capacity of the textile material [1].

As a result of traditional alkaline scouring, pectin substances pass into soluble compounds and are completely removed from the fiber as a result of hydrolysis. Nitrogen-containing protein substances are hydrolyzed, forming amino acids, which with sodium hydroxide produces water-soluble salts. About 40 % of waxy substances (fatty acids) are saponified to form sodium salts of fatty acids. The remaining waxy substances are removed by emulsification with a surfactant [2]. For the successful flow of the emulsification process, it is necessary to transfer waxy substances to a molten state. The melting point of waxy substances is 80 °C, so the scouring temperature should be higher [2].

Under such conditions, nonselective oxidation of cellulose occurs: micro- and macroradicals are formed, pyran rings and glucosidic bonds are broken, and a mixture of hydroxy- and hydrocellulose is formed [3]. As a result of oxidation, the destruction of cellulose materials occurs, which is expressed in a decrease in the degree of polymerization, and, as a result, a deterioration in physical, mechanical and other consumer properties [4]. In addition, during alkaline scouring, a significant part of the reagents is removed during washing and enters wastewater and the atmosphere, causing enormous damage to the environment.

Currently, biotechnological methods for the preparation of textile materials from cellulose fibers are being developed and introduced into production more and more with the use of enzyme preparations that are active at low temperatures and in neutral environments [3, 5, 6]. Thus, the most commonly used preparation in scouring technologies is the cellulase enzyme, which causes the destruction of cellulose in the outer layers of the fiber in areas with the least ordered molecules [4]. Bioscouring involves carrying out

the technological process at a temperature of 50–60 °C, while the removal of waxy impurities is carried out due to the partial hydrolysis of the cellulose of the primary wall and the destruction of the cuticle [5].

However, according to the studied literature sources [3], [7], not all accompanying impurities of cotton fiber can be removed in the process of bioscouring with a composition of enzyme preparations. In particular, the greatest difficulty is the removal by enzymes of the protein part of nitrogen-containing substances. They can be extracted only after their destruction under the action of hot alkali solutions or alkaline solutions of sodium hypochlorite, or in the presence of sodium silicate [2]. In this regard, the task of developing integrated technologies for the processing of cotton materials, including the stages of bioscouring and alkaline scouring (with a reduction in the concentration of NaOH in the solution), which minimizes the aggressive effect of chemicals on cellulose, and also improves the environmental friendliness of finishing technologies, is an urgent task.

The aim of the work is to develop a technology for scouring of cotton fabrics using new polyenzymatic compositions of Belarusian production, as a result of which the maximum cleaning of cotton fabric from accompanying impurities is achieved with minimal damage to the fiber-forming polymer.

OBJECT AND SUBJECT OF RESEARCH

The object of study is a cotton fabric of plain weave ("Baranovichi Cotton Production Association", JSC) with a surface density of 120 g/m². This fabric was processed according to four technologies (Figure 1).

In the study the following preparations of a Belarusian manufacturer, Enzitem LLC company, were used: Enzitem CKO (Acidic cellulase, activity 10,000 *units/g*, optimal conditions for *pH* from 4.5 to 5.5, operating temperature 30–70 °C); Enzitem Bio-K (Acid pectinase, activity 6500 *units/g*. Optimal conditions for action *pH* from 3.0 to 4.5, operating temperature 40–60 °C); Enzitem ATS (Bacterial α -amylase, activity 10,000 *units/g*, optimal conditions for action *pH* from 5.5 to 6.5, operating temperature 40–90 °C).

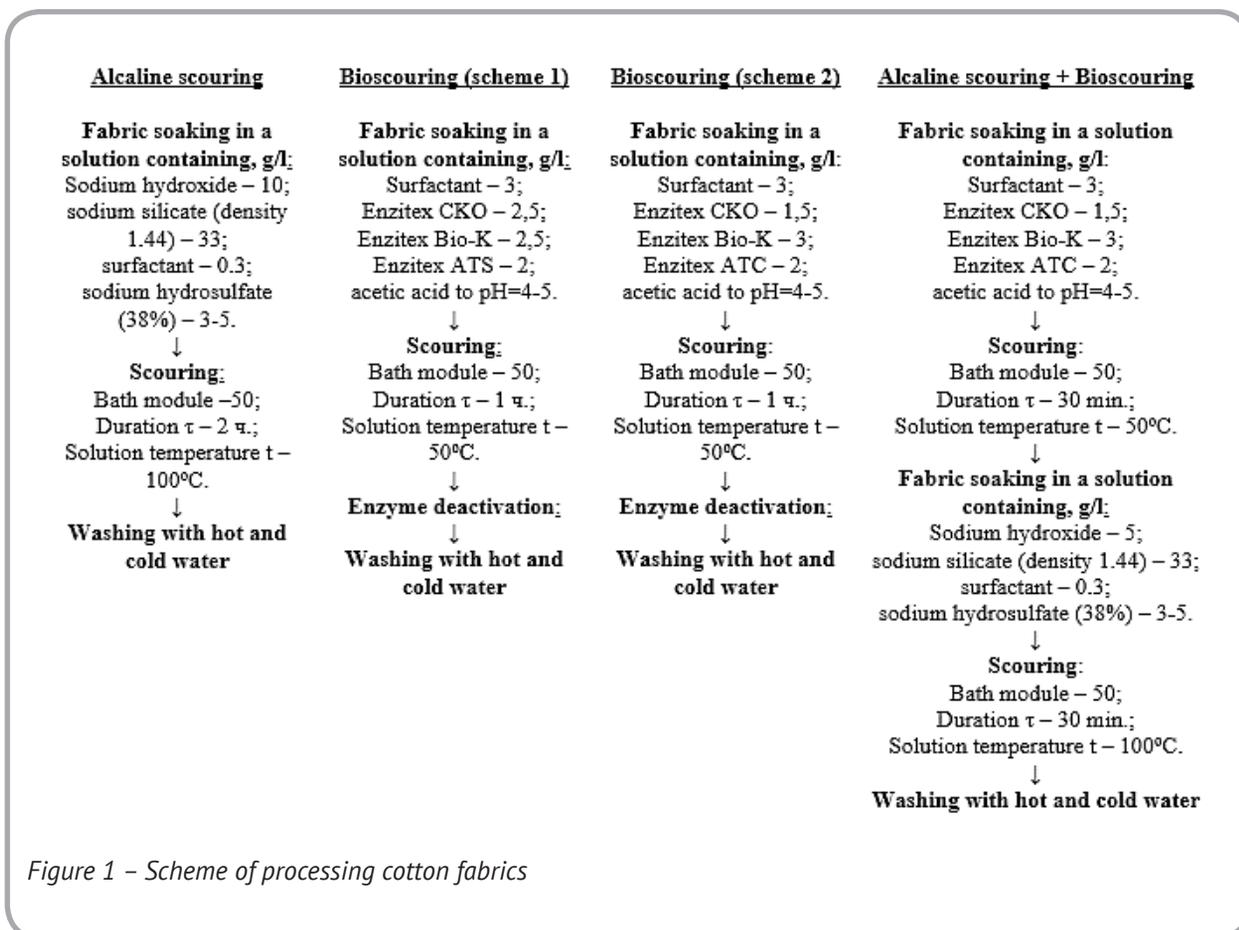


Figure 1 – Scheme of processing cotton fabrics

RESEARCH METHODS

To determine the effectiveness of scouring, the content of waxy and fatty substances, pectin substances, ash substances, and the degree of damage to cellulose were determined in the cotton fiber.

To determine the waxy and fatty substances of cotton fiber, the method of extracting them with an alcohol-benzene reagent (1:1) in a Soxhlet apparatus was used [4]. After drying the material to constant weight at $t = 90$ °C and cooling in a desiccator, it was weighed with an accuracy of 0.001 and the content of fat waxes (%) was calculated using the formula (1):

$$x = \frac{m_1 \cdot 100}{m_2 \cdot (100 - W)} \quad (1)$$

Pectins were extracted with 1 % ammonium citrate solution followed by spectrophotometric measurement on a PB 2201 spectrophotometer

designed to measure spectral directional transmittances, optical density in transparent liquid solutions and solid samples and determine the concentration of substances in the spectral range of 190...1100 nm. The measurements were carried out at a wavelength of 360, 390, 530, and 630 nm, followed by the calculation of the quantitative content of polysaccharides included in the composition of pectin substances (hexosans, pentosans, polyuronides, furfural), as well as the calculation of the quantitative content of pectin substances [4].

The content of ash substances in the fiber was determined according to GOST 938.2-67. Leather. Ash content determination method [8].

The degree of damage to the cellulose of cotton fiber was determined by the relative viscosity (η_{sp}) of 0.1 % copper-ammonia solutions of cellulose using a rotational viscometer Lamy Rheology RM100 PLUS [3].

EXPERIMENTAL STUDIES AND DISCUSSION OF RESULTS

The results of determining the chemical composition and the degree of damage to cotton materials are presented in Table 1.

Waxy impurities in cotton are localized in the peripheral part (cuticle and primary wall) of the fiber [3]. Waxes are based on hydrocarbons, fatty acids and their esters, as well as high molecular weight alcohols. One of the important conditions for the purification of cellulose fiber from waxy compounds is their transfer to a molten or softened state [9]. In an alkaline environment, up to 37% of waxy cotton is saponified, the rest can be removed only by emulsification or dissolution in nonpolar organic solvents [3].

When forming the technology for the preparation of textile materials from natural plant fibers, it should be taken into account that it is desirable to leave a certain part of waxy materials on the fiber, since they improve the elastic properties of the fibers and increase the consumer (physical and mechanical) properties of the textile material. It is known that a decrease in the content of waxy to 0.11 % and below leads to a loss of tear strength by 30 % [3].

Alkaline scouring removes 0.185 % of cotton extractives, while bioscouring releases about 0.546 % of waxy and fatty impurities. The smallest percentage of fat wax content is demonstrated by a sample that has undergone a combined biochemical treatment, which includes consecutive enzymatic and traditional alkaline scouring. This

pattern is confirmed by the results of studies presented in [9], according to which the removal of waxes during enzymatic scouring is mainly carried out by introducing a surfactant into the working bath and introducing an additional hydrodynamic (mechanical) effect. Due to the partial destruction of the primary wall of the cotton fiber and the loosening of its structure by enzymes, there is a more complete surfactant sorption in the surface structures of the damaged fiber, which makes it possible to remove the largest amount of fatty substances by emulsification.

Pectic substances are one of the main satellites of cellulose. This is a group of complex carbons, consisting of polygalacturonic acid. In cotton, pectin substances are concentrated in the cuticle and in the primary wall (37 %). They can be complexed with waxy materials and with cellulose itself, which makes it difficult to remove them from the fiber [3].

Pectin can be extracted from cellulose fiber by various methods. Due to the hydrolytic destruction of glucosidic bonds, most of the pectin substances dissolve in solutions of alkalis and acids. When processing cotton fiber with peroxide solutions, depending on the concentration of hydrogen peroxide, from 11 to 29 % of pectin compounds can be removed. Pectic substances can be removed by boiling cotton with alkali under pressure, as well as using enzyme preparations [2]. Under the action of pectinases, the hydrolytic cleavage of pectin substances occurs in several stages: protopectinase acts on insoluble protopectin by

Table 1 – Chemical composition and degree of damage to the studied cotton materials

	Original fabric	Alkaline scouring	Bioscouring (Scheme 1)	Bioscouring (Scheme 2)	Biochemical scouring
Content of fatty and waxy substances, %	1.4862	1.301	0.9402	0.9456	0.6317
Content of pectin substances, %	0.6619	0.6244	0.5147	0.2714	0.1199
Content of ash substances, %	1.6259	0.8737	0.1621	0.1689	0.2911
Viscosity of copper-ammonia solution of cellulose, <i>mPa</i> (degree of damage to cellulose)	44.78	33.76	39.82	43.19	37.68

destroying the bonds between the components of cell walls and pectin, as a result of which the latter becomes soluble [10].

The use of enzyme scouring with pectinase as part of the composition causes hydrolytic cleavage of pectin substances, promotes their effective extraction from the fiber. With an increase in the concentration of pectinase in the cooking solution (Scheme 2, biochemical scouring), the proportion of removed pectin substances increases.

Photos of the residual ash content in a porcelain crucible after calcining cotton fiber in a muffle furnace are shown in Figure 2.

Purification of fiber from mineral substances, as a rule, is not difficult. The ash substances of cellulose are soluble in water and are removed from the fabric by washing with water or a weak acid solution. According to the results of the study,

the largest percentage of ash impurities is removed during tissue bioscouring with polyezymatic compositions. Biochemical scouring also removes 80% of minerals from cellulose fibers. Probably, this effect is achieved by additional loosening of the fiber structure and creating conditions for a deeper and more complete removal of impurities. The technology of enzymatic scouring of cotton textile material consists in the selective hydrolysis of the cellulose of the primary wall of cotton, as a result of which the cuticle is removed and the outer layer (primary wall) of the fiber is partially destroyed. It is believed that by destroying the primary wall, it is possible to remove the main part of the contaminants from this layer [2].

Thus, at this stage of research, it has been determined that the most effective is the combined biochemical scouring in terms of removing the

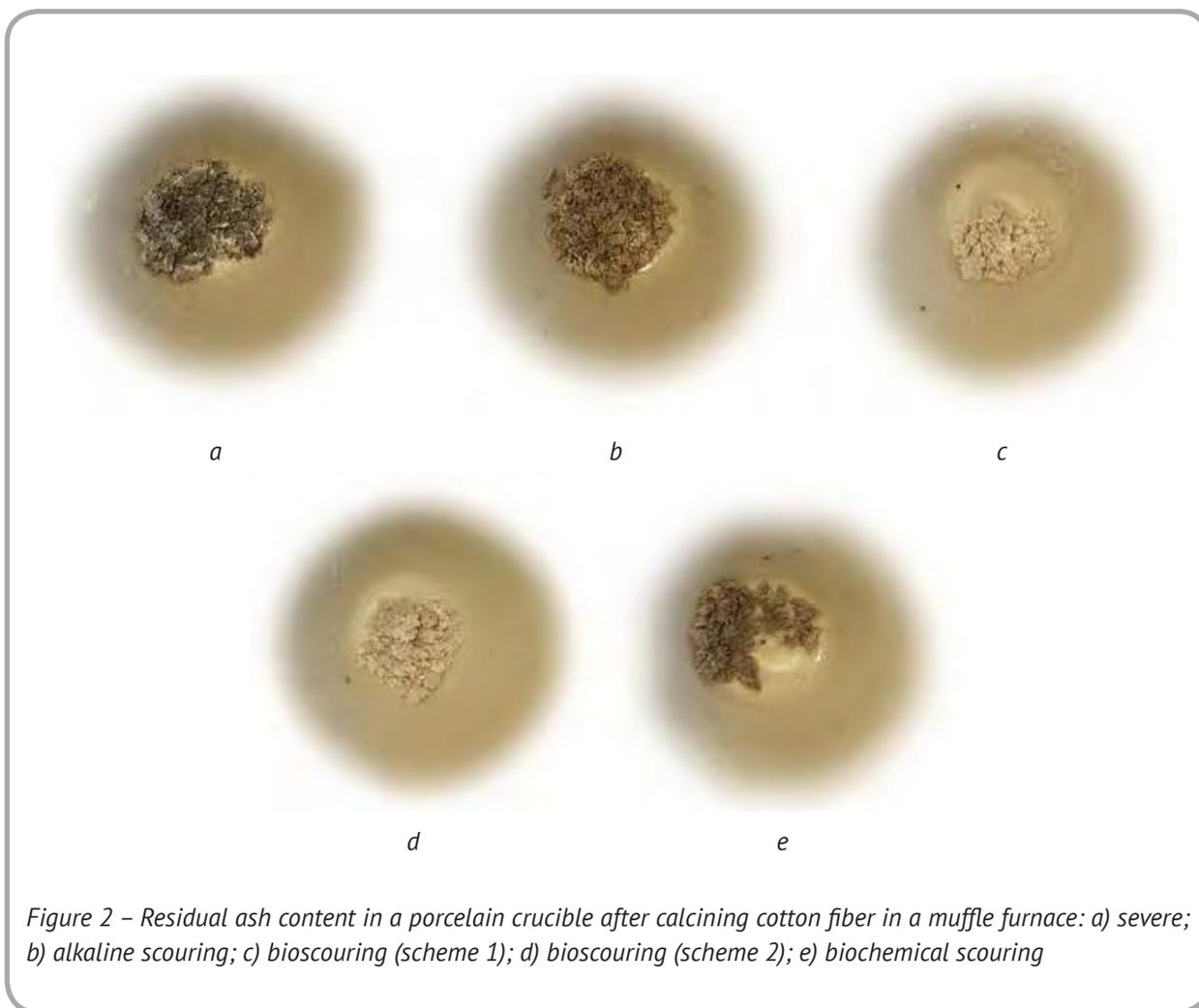


Figure 2 – Residual ash content in a porcelain crucible after calcining cotton fiber in a muffle furnace: a) severe; b) alkaline scouring; c) bioscouring (scheme 1); d) bioscouring (scheme 2); e) biochemical scouring

accompanying impurity compounds of cotton.

Cellulase is known to cause hydrolysis of the β -glucosidic bond in carbohydrates [3]. The result of such hydrolysis of cellulose is its destruction. Hydrocellulose is characterized by increased solubility in hot water, especially alkaline solutions. Thus, alkaline scouring increases the degree of degradation of the cotton biopolymer

due to processing at high temperatures. Therefore, given the effect of scouring, whether alkaline or enzymatic, on cellulose, a decision was made to determine to what extent these technologies contribute to the destruction of cellulose.

The viscosity of the copper-ammonia solution of the tissue sample biotreated according to Mode 2 (with a lower concentration of the

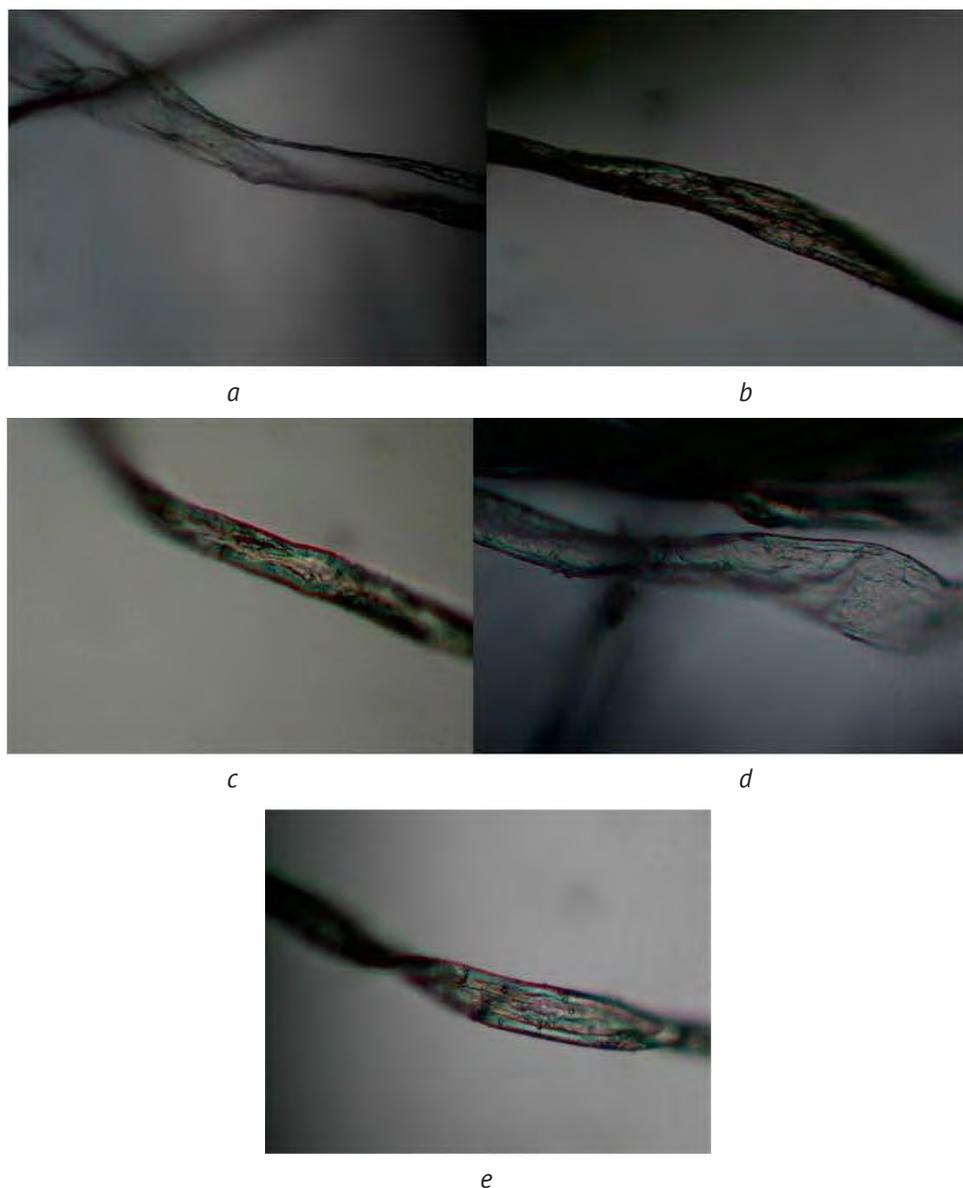


Figure 3 – Micrographs of the original and processed fibers: a) original fibre; b) alkaline scouring; c) bioscouring (scheme 1); d) bioscouring (scheme 2); e) biochemical scouring

cellulase enzyme) decreased by 3.5 % compared to the solution of the original fabric, and exceeded the viscosity of the sample solution prepared according to Scheme 1. Introduction of bioscouring to alkaline scouring technology stage and a decrease in the concentration of alkali in the composition of the solution allows to reduce the degree of destruction of cellulose, i.e., the viscosity of the copper-ammonia solution increases by 10 % compared to the viscosity of the solution after alkaline scouring.

Using an optical microscope Altami Micromed, micrographs of the studied cotton fibers were taken (Figure 3).

Visual assessment of micrographs allows us to conclude that the outer layers of the fiber are destroyed after scouring in all modes. The most damaged fiber is noted after alkaline scouring, which is also confirmed by the results of a study of the viscosity of copper-ammonia solutions of cellulose.

CONCLUSIONS

Despite the fact that the use of enzyme scouring allows maximum preservation of cellulose, in order to achieve the required degree of purification from impurities and maximum wettability, it is advisable to use combined biochemical methods of preparation, consisting of sequential treatment with enzyme preparations and a traditional alkaline scouring solution at low concentrations of its constituent components.

Thanks to the use of non-toxic biodegradable enzymes in the technology of preparing cotton textile materials for dyeing, it is possible to reduce the concentration of NaOH by 2 times; reduce the duration of treatment in an alkaline solution; and also reduce exposure to high temperature by more than 2 times by additional loosening of the fiber structure and creating conditions for a deeper and complete removal of impurities. The result of a mild impact is the preservation of the fiber-forming polymer, and, consequently, the strength of the fiber, as well as a decrease in the negative impact on the environmental situation.

The use of polyenzyme compositions in the scouring biotechnology makes it possible to comprehensively influence various types of impurities, contributing to the effective cleaning of the fiber and imparting increased hydrophilic properties to it.

The research was carried out within the framework of the research work "Biochemical modification of cellulose textile materials" № T22UZB-062" from the Belarusian Republican Foundation for Basic Research.

The article was prepared based on the materials of the report of the 'INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI-2022)', which took place on November 23–24, 2022 at the educational institution "Vitebsk State Technological University" (Republic of Belarus)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кричевский, Г. Е. (2001), *Химическая технология текстильных материалов*, Москва, 2001, 298 с.
2. Барышева, Н. В. (2006), *Разработка основ ферментативной технологии отварки хлопчатобумажных тканей: дисс. ... канд. техн. наук*, Москва, 2006, 179 с.
3. Алеева, С. В. (2011), *Химия и технология биокатализируемого наноконструирования льняных*

REFERENCES

1. Krichevsky, G. E. (2001), *Himicheskaya tekhnologiya tekstil'nyh materialov* [Chemical technology of textile materials], Moscow, 2001, 298 p.
2. Barysheva, N. V. (2006), *Razrabotka osnov fermentativnoj tekhnologii otvara hlochatobumazhnyh tkanej* [Development of the basics of the enzymatic technology for the decoction of cotton fabrics], dis. ... cand. tech. sciences, Moscow, 2006, 179 p.

- текстильных материалов, *Российский химический журнал им. Д.И. Менделеева*, 2011, № 3, С. 46–58.
4. Алеева, С. В. (2014), *Методологические основы совершенствования процессов биохимической модификации льняных текстильных материалов*: дисс. ... докт. техн. наук, Иваново, 2014, 396 с.
 5. Алеева, С. В. (2012), Исследование и описание изменения капиллярности льняной ткани в условиях ферментативной обработки, *Изв. вузов. Химия и химическая технология*, 2012, № 3, С. 91.
 6. Koksharov, S., Aleeva, S., Lepilova, O. (2015), Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning, *AUTEX Research journal*, 2015, V. 3, P. 215.
 7. Котко, К. А., Ясинская, Н. Н. (2019), *Инновационная биотехнология подготовки целлюлозосодержащих текстильных материалов*, Сборник научных работ студентов Республики Беларусь «НИРС 2018», Минск, 2019, С. 168–170.
 8. ГОСТ 938.2-67. *Кожа. Метод определения содержания золы*. Введ. 1967-30-06. Москва, ИПК Издательство стандартов, 2003, 4 с.
 9. Пряхникова, В. Г. (2003), *Создание и применение препарата на базе ПАВ для интенсифицированной отварки хлопчатобумажных тканей*: дисс. ... канд. техн. наук, Москва, 2003, 134 с.
 10. Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В., Котко, К. А. (2018), Применение ферментных препаратов пектинолитического действия для подготовки льняных тканей к колорированию, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 2, С. 104–111.
 3. Aleeva, S. V. (2011), Chemistry and technology of biocatalyzed nanoconstruction of linen textile materials [Himiya i tekhnologiya biokatalitičeskoj nanokonstrukcii l'nyanyh tekstil'nyh materialov], *Russian Chemical Journal im. D.I. Mendeleev*, 2011, № 3, pp. 46–58.
 4. Aleeva, S. V. (2014), *Metodologičeskie osnovy sovsheštenstvovaniya processov biohimicheskoj modifikacii l'nyanyh tekstil'nyh materialov* [Methodological foundations of improving the processes of biochemical modification of linen textile materials]: diss. ... doctor tech. science, Ivanovo, 2014, 396 p.
 5. Aleeva, S. V. (2012), Research and description of changes in the capillarity of linen fabric under conditions of enzymatic treatment [Issledovanie i opisanie izmeneniya kapillyarnosti l'nyanoj tkani v usloviyah fermentativnoj obrabotki], *Izv. universities. Chemistry and chemical technology*, 2012, № 3, P. 91.
 6. Koksharov, S., Aleeva, S., Lepilova, O. (2015), Nanostrukturnaya biohimicheskaya modifikaciya l'novolokna v processah ego podgotovki k pryadeniyu [Nanostructural biochemical modification of flax fiber in the processes of its preparation for spinning], *AUTEX Research journal*, 2015, V. 3, P. 215.
 7. Kotko, K. A., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2019), *Innovacionnaya biotekhnologiya polucheniya cellyulozosoderzhashchih tekstil'nyh materialov* [Innovative biotechnology for the preparation of cellulose-containing textile materials], Collection of scientific works of students of the Republic of Belarus "NIRS 2018", Minsk, 2019, pp. 168–170.
 8. GOST 938.2-67. *Leather. Ash content determination method*. Introduction 1967-30-06, Moscow, IPK Standards Publishing House, 2003, 4 p.
 9. Pryazhnikova, V. G. (2003), *Sozdanie i primenenie preparata na osnove PAV dlya intensifikacii otvara hlochatobumazhnyh tkanej* [Creation and

application of a preparation based on surfactants for the intensified decoction of cotton fabrics], dis. ... cand. tech. sciences, Moscow, 2003, 134 p.

10. Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V., Kotko, K. A. (2018), The use of pectinolytic enzyme preparations for the preparation of linen fabrics for coloring [Primenenie fermentnyh pektinoliticheskikh preparatov dlya podgotovki l'nyanyh tkanej k okraske], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2018, № 2, pp. 104–111.

Статья поступила в редакцию 25. 09. 2022 г.

ЦИФРОВЫЕ НАВЫКИ ДЛЯ РАЗВИТИЯ ТЕКСТИЛЬНОЙ, ШВЕЙНОЙ И ОБУВНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

DIGITAL SKILLS FOR TEXTILE, APPAREL AND SHOE INDUSTRY DEVELOPMENT

УДК 331.108

Е.А. Алексеева*, А.С. Скакалова, В.О. Халецкая
Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-135-144>

A. Aliakseyeva*, A. Skakalova, V. Khaletskaya
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

НАВЫКИ ПЕРСОНАЛА, ОЦЕНКА НАВЫКОВ, НЕСООТВЕТСТВИЕ НАВЫКОВ, РАЗВИТИЕ ПЕРСОНАЛА

В статье навыки персонала рассматриваются как источник конкурентных преимуществ. Установлено, что в условиях цифровизации экономики повышаются требования к навыкам персонала, труд становится гибридным, отсутствие цифровых навыков тормозит процесс цифровой трансформации, которая необходима легкой промышленности для поддержания конкурентоспособности. В статье приведены результаты исследования навыков персонала швейного предприятия, проведенного методом опроса на основе авторской анкеты. В рамках исследования на основе самооценки персонала проведены оценка востребованности навыков на конкретном рабочем месте, оценка недостающих и требующих совершенствования навыков, а также заинтересованности персонала в их освоении и развитии. Методический подход апробирован на примере швейного предприятия и позволяет выявить несоответствия навыков, а также сформировать программы обучения персонала, направленные на снижение несоответствия и обеспечивающие развитие конкурентных преимуществ организации через повышение соответствия навыков требованиям рабочих мест.

ABSTRACT

STAFF SKILLS, SKILL ASSESSMENT, SKILL MISMATCH, STAFF DEVELOPMENT

In the article, staff skills are considered as a source of competitive advantages. It has been determined that in the context of the digitalization of the economy, the requirements for staff skills are increasing, labor becomes hybrid, the lack of digital skills slows down the process of digital transformation, which is necessary for textile, apparel and shoe industry to maintain competitiveness. The article presents the results of a study of the staff skills at an apparel enterprise, conducted by a survey method based on the author's questionnaire. In the study framework, based on the self-assessment of staff, an assessment of the demand for skills in a particular workplace, an assessment of the mismatch and requiring improvement skills, as well as the interest of the staff in skills development have been done. The methodological approach has been tested on the example of an apparel company and allows to identify mismatches of skills, as well as to create staff training programs aimed at reducing the mismatch and ensuring the development of the organization's competitive advantages by increasing the matching of skills to the requirements of jobs.

* E-mail: alekseeva@vstu.by (A. Aliakseyeva)

Introduction

The textile, apparel and shoe industry of Belarus occupies 3 % in the structure of the manufacturing industry and has good growth potential. However, it requires the formation of new competitive advantages, non-standard solutions and breakthrough innovations for its development and expansion. The most urgent tasks for the enterprises of the textile, apparel and shoe industry in Belarus are to ensure the intensification of the production of intensively updated goods and the reduction in the cost of products made to order, which can be solved by transforming to a digital model of the factory. One of the factors threatening the digital transformation of enterprises and the economy as a whole is the lack of digital skills among staff.

Staff skills as a source of new competitive advantages. Skill mismatch

One of the key factors of competitive advantages of a new type are the relevant skills of the staff. The results of a survey conducted by the International Recruiting Company HAYS in 2020 among 5,153 respondents (286 employers, 68 % of which are international companies, and 4,867 professionals) showed that the most important skills that affect competitiveness are strategic thinking, persuasion skills, working with people and working in a team. According to the results of the "Competence Foresight 2030" study, conducted in 2014 by the Moscow School of Management SKOLKOVO and the Agency for Strategic Initiatives, when preparing specialists for the future labor market, one should rely on skills and competencies that are in demand in the future, and not on professions, because due to high dynamics of the labor market many professions of the future does not exist yet.

The recent studies analysis has shown that nowadays serious attention is paid to the study of existent competencies and skills of staff, which is explained by their continuous development, taking into account the digital transformation of society [1, 2, 3]. Nevertheless, the issues of systematization of the main groups of digital skills require more detailed consideration.

Under the digital transformation, work becomes hybrid, it requires a combination of digital, technical, social and cognitive skills. The

acquisition and development of these skills during the period of employment plays an important role in increasing the competitiveness of the enterprise and its employees, is a source of new competitive advantages and a business growth factor. The digital transformation of the economy and the growing demand for hybrid skills are creating a gap between the demand for skills and their supply in the labor market. So, organizations should take the role of the initiator for in-demand skills of the staff development, be ready to identify gaps (mismatches) of skills and invest in the appropriate training programs to eliminate or reduce these gaps.

Researchers note that staff should have skills that are complemented but not displaced by automation: cognitive, social, technical [3, 4]. In conditions when much of specialized professional knowledge quickly becomes obsolete and is replaced by new one (it is easier to teach a person with suitable soft skills from scratch), it is not the possession of this unique knowledge and experience that comes to the fore, but the basic skills that are important for absolutely any field. They are called soft or flexible (logical and critical thinking, creativity, the ability to build relationships with people, adaptability to change, etc.).

Researchers believe that it is becoming increasingly important for businesses and workers to keep skills up to date. Some of the skills that are in demand today did not exist 10 years ago [2, 5]. In recent years, matching skills to jobs has become a policy priority. Some skill mismatch is by the nature of things, as the labor market involves complex decisions by employers and workers, and also depends on many external factors. But high and persistent skills mismatch is costly for employers, workers and society at large. Behind it, there may be a shortage of skills, as well as obsolescence of skills or work not in the specialty - and these types of mismatch have different causes and ways of measuring [1].

Differences in the types of skills mismatch are due to significant differentiation in its qualitative interpretation and quantitative assessment. The problem of skills mismatch is widely discussed in OECD countries. The STEP (Skills to Employability and Productivity) Skills Study suggests that even in low-income countries, many workers are over-

skilled for their jobs and fail to make full use of their skills. Quality of education and training is essential, but skills mismatch also has an impact on the overall health of the labor market.

Results of an empirical study of staff skills at an apparel enterprise

The study of skills carried out at an apparel enterprise with a staff of 471 people, in the form of a survey based on the author's questionnaire. The study involved 60 people (10 managers, 17 specialists, 33 workers), which ensures the representativeness of the sample with a confidence interval of 10% and a confidence level of 10 %.

The survey uses one of the classifications accepted in socio-economic studies, according to which skills are divided into professional (hard) and flexible (soft). In turn, soft skills are divided into cognitive, social, personal and managerial (Table 1) [3, 6, 7].

Employees of different categories were asked to assess the demand for each skill on a five-point scale, and to conduct a self-assessment of skill mismatch. It was also possible to supplement the proposed list of skills with their own.

Among managers, the most demanded skills are the ability to make decisions in non-standard situations, the skills of planning, organizing, managing and evaluating work, analytical thinking, the ability to mobilize the abilities of others, labor discipline and communication culture. In general, this corresponds to the profile of managers. The least demanded in this category of respondents are the ability to work productively in a team, the ability to work well under pressure, awareness in related areas of the acquired specialty, the ability to develop new ideas and solutions (Figure 1). This indicates the firm's reluctance to new ideas and low innovation activity.

Table 1 – Description of the skills used in the survey

Skill code	Skill type	Skill name
1	Hard skill (professional)	Mastering knowledge in your field / subject area
Soft skills		
2	Cognitive	Ability to apply knowledge in practice
3	Personal	Ability to improve
4	Cognitive	Ability to develop new ideas and solutions
5	Personal	Ability to adapt to changing conditions
6	Personal	Ability to make decisions in non-standard situations
7	Personal	Analytical thinking
8	Cognitive	Ability to analyze information
9	Managerial	Skills for planning, organizing, managing and evaluating work
10	Personal	Willingness to question your own and others' ideas
11	Managerial	Ability to work effectively to achieve the goal
12	Managerial	Ability to organize your work processes efficiently
13	Personal	Ability to work well under pressure
14	Social	Ability to work productively in a team
15	Social	Ability to mobilize the abilities of others
16	Social	Level of foreign language proficiency
17	Managerial	Labor discipline and communication culture
18	Cognitive	Awareness in related areas of the received specialty
19	Social	Self-presentation skills

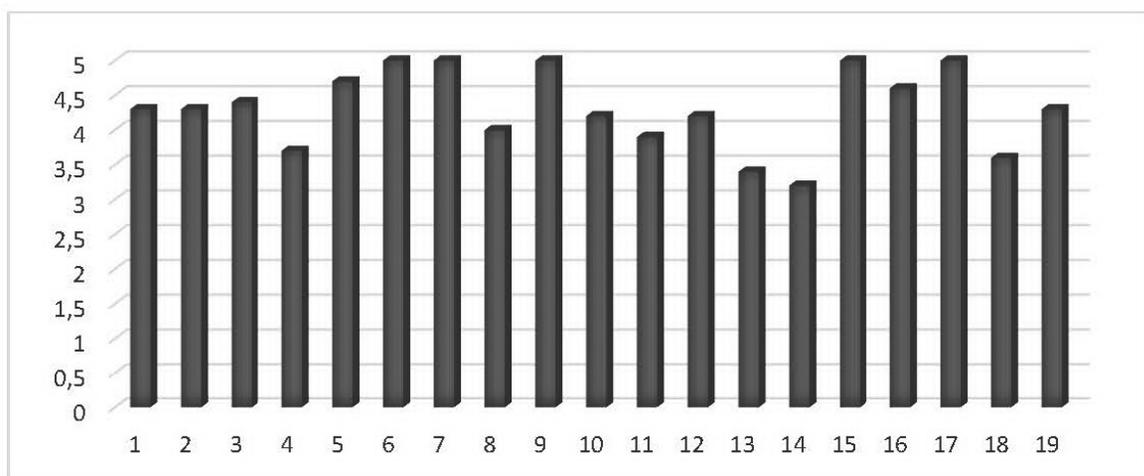


Figure 1 – Assessment of the in-demand skills of managers

Source: survey results.

Among the skills mismatched among managers, according to the results of their self-assessment, are the ability to develop new ideas and solutions, the ability to work productively in a team, the ability to work well under pressure, and awareness in related areas of the acquired specialty (Figure 2).

These are exactly the skills that, according to this category of workers, are the least in demand in their workplaces.

Economists, engineers, technologists, cutters and others were interviewed among specialists in the clothing industry. The work experience

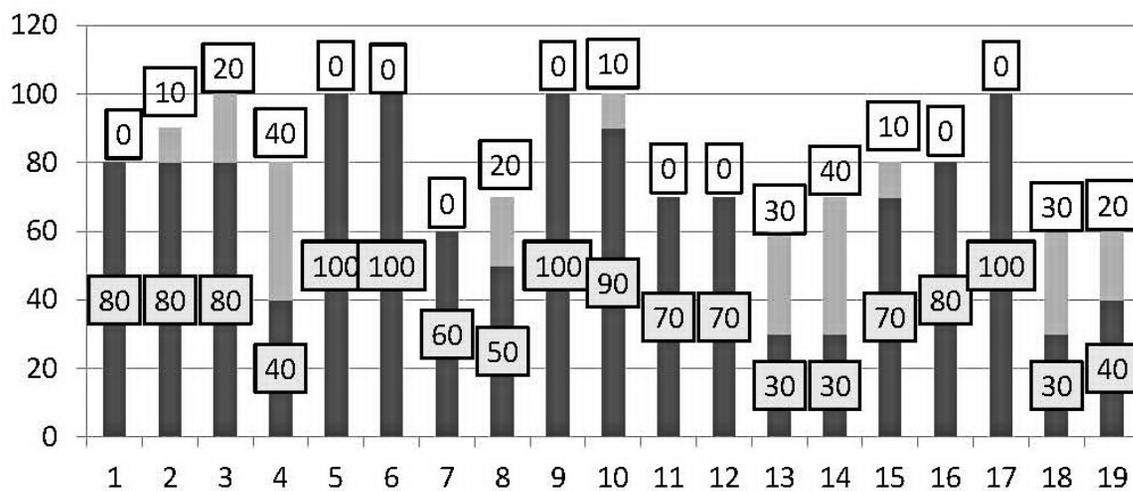


Figure 2 – Assessing the skills mismatch of managers

Source: survey results.

of personnel in this group is from 1 to 10 years, mostly up to 5 years. Employees claim that they are satisfied with their work and have the opportunity for career growth. 70 % of the respondents answered that they have a very high degree of use of the skills and knowledge gained in the learning process, but 30 % say that their knowledge and skills are not used at all. As the most demanded skills among specialists, the ability to apply knowledge in practice, labor discipline and a culture of communication, mastery of knowledge in their subject area, the ability to work effectively to achieve a goal were noted. The least significant skills turned out to be: the ability to develop new ideas and solutions, the willingness to question one's own and others' ideas, the ability to make decisions in non-standard situations (Figure 3). And this despite the fact that technologists responsible for the development of new ideas for making clothes were interviewed among specialists, and technologists were interviewed among specialists whose duties include developing new ideas for making clothes.

The skills mismatched among specialists are the following: the ability to develop new ideas and solutions; the ability to adapt to changing

conditions; the ability to mobilize the abilities of others; awareness in related areas of the acquired specialty (Figure 4).

In the block with skills that are not in the questionnaire, but are necessary for the positions held, specialists indicated the creation of sketches and designs of new products, the manufacture of patterns, the selection of materials and accessories, market monitoring, searching for new customers, the preparation of documentation. Skills that are necessary, but not available for the interviewed specialist, were the level of foreign language proficiency, modeling the form of clothing, developing the concept of the collection and individual products, awareness in related areas of the received specialty.

Among the workers, sewers of different age categories were mainly interviewed, most of them have secondary specialized education. Young workers noted that they were not satisfied with their work and there was no opportunity for career growth. Skills analysis showed that the knowledge and skills acquired in the study are partially used. But there are also answers with a very high degree of use. The most demanded in this segment were knowledge in the subject area, the

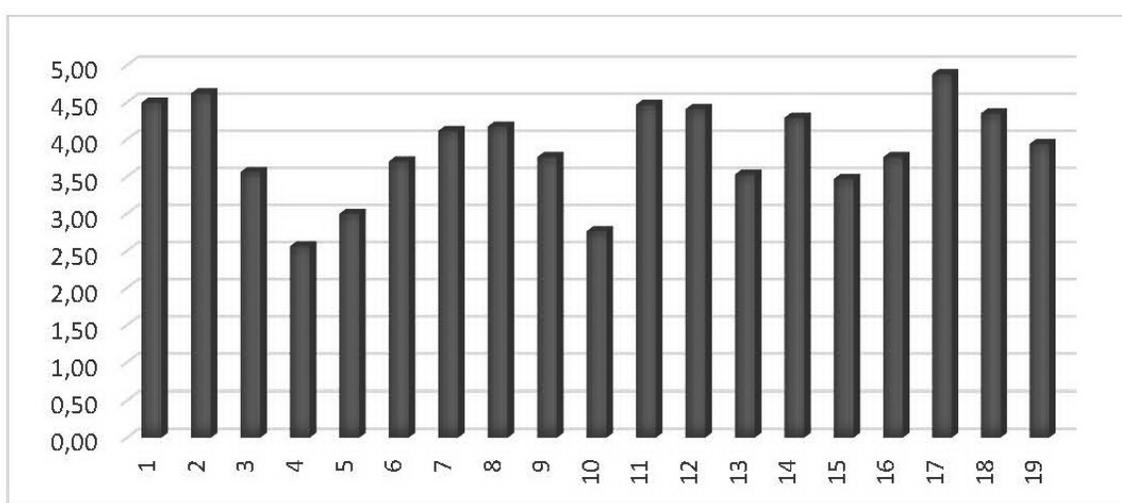


Figure 3 – Assessment of the in-demand skills of specialists

Source: survey results.

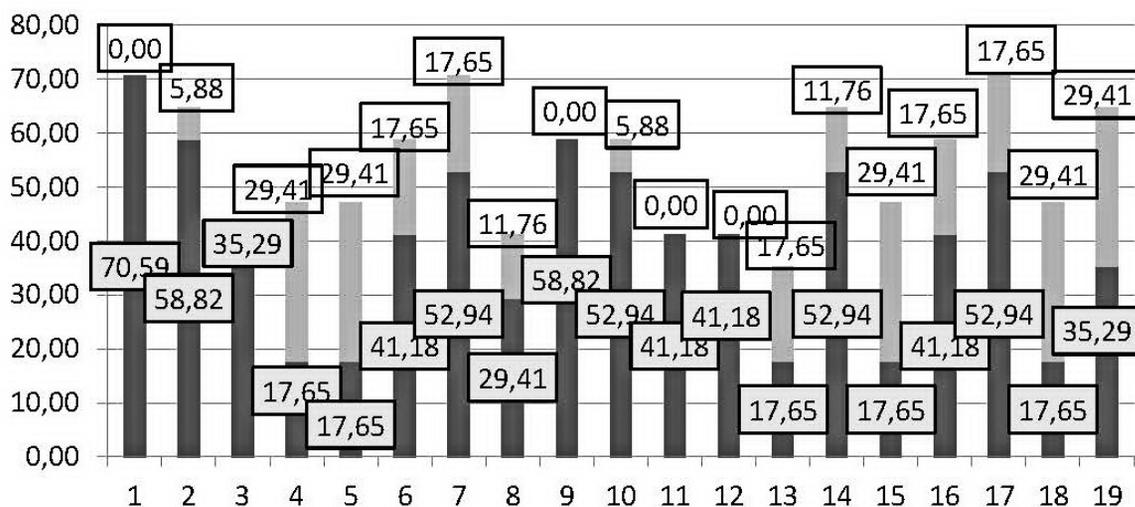


Figure 4 – Assessing the skills mismatch of specialists

Source: survey results.

ability to organize their work processes effectively, the ability to apply knowledge in practice. The following were the least demanded skills: self-presentation skills; the level of foreign language proficiency; the ability to analyze information;

the willingness to question one's own and other people's ideas (Figure 5).

Among the skills that workers lacked the most part constitutes: the ability to constantly improve; the ability to analyze information; the skills of

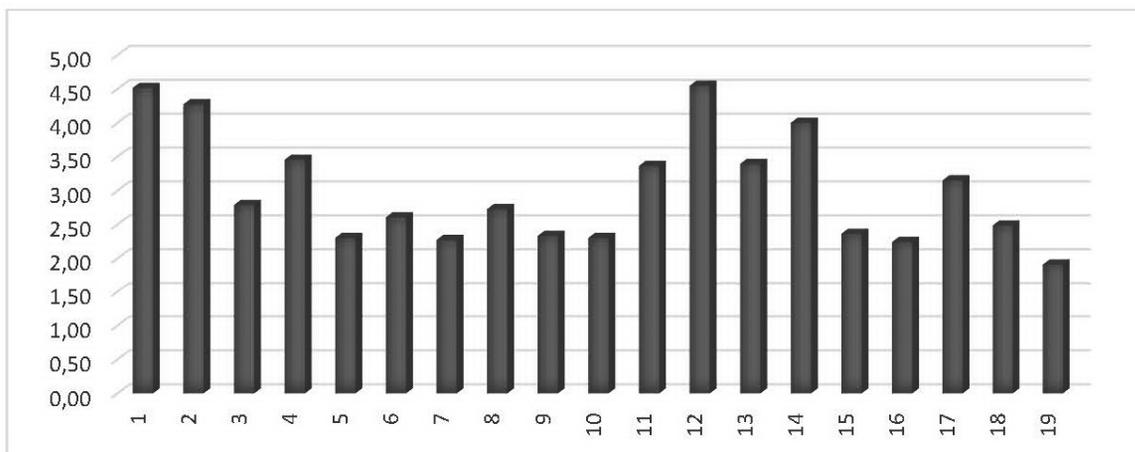


Figure 5 – Assessment of the in-demand skills of workers

Source: survey results.

planning, organizing, managing and evaluating work; self-presentation skills (Figure 6). It should be noted that in the category of workers, the largest mismatch is also observed in the least demanded skills.

In the block with skills that are not in the questionnaire, but are necessary for workers, there were indicated cutting fabrics, setting up sewing techniques; tailoring, fitting and finishing clothes, knowledge of the characteristics of different types of fabrics, the ability to use sewing equipment, attentiveness and a good eye, accuracy, patience. Skills that are necessary but not available for workers are as follows: the ability to make decisions in non-standard situations; awareness in related areas of the acquired specialty; the ability to work productively in a team; the ability to use a computer; the ability to select the appropriate material and accessories.

The results of the survey also show that the staff of the organization have a desire to develop and acquire new skills and knowledge. Interest in improving skills and professional growth was

expressed by 67 % of respondents; the remaining 33 % are mainly people at the age over 55 years old.

In general, it should be noted that the demand for soft skills among workers is much lower than among managers and specialists, which confirms the opinion of most specialists.

The results of the study can be used in the development of training programs for staff, and can also be used for career management. When evaluating staff skills and skills mismatch, in addition to self-assessment, the opinion of the manager can also be taken into account.

Development of digital skills for the transition to a digital enterprise model

From the standpoint of the new competitive advantages development, such challenges of the digital economy as a radical technological revolution, new ways of interacting with consumers, new opportunities for the value chains development, the development of communication forms create new sources of competitiveness of enterprises, in particular: the introduction of

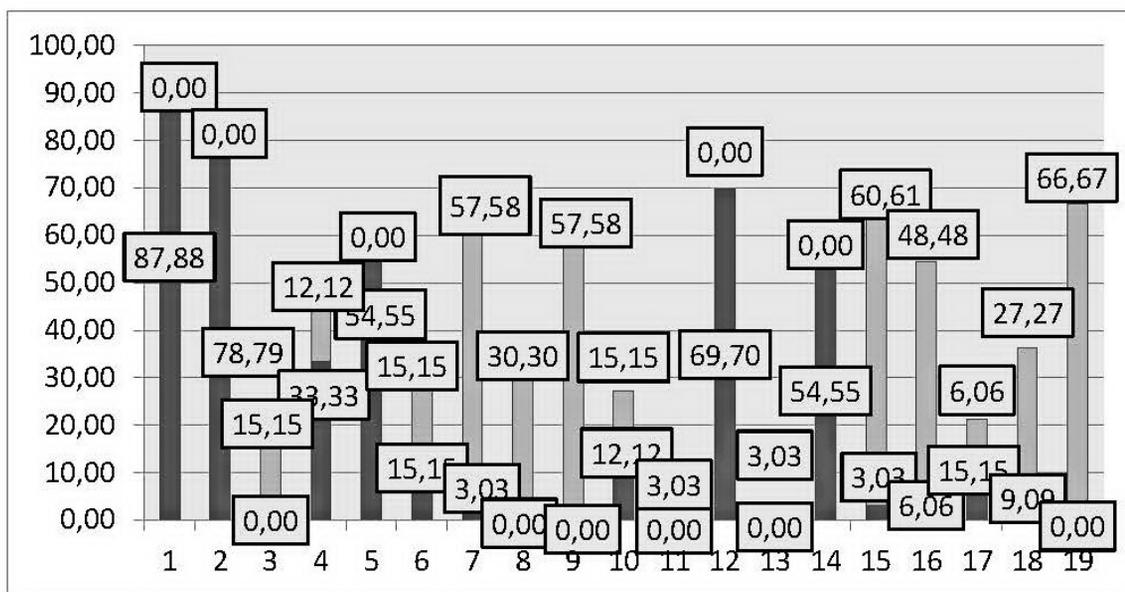


Figure 6 – Assessing the skills mismatch of workers

Source: survey results.

breakthrough technologies in the enterprise's activities; the CRM databases development; digital services; systemic transformation of value chains; complex cross-functional integration in decision-making at all levels [8].

Today, large enterprises in the textile, apparel and shoe industry are accumulating the potential for digital transformation, an important component of which is staffing [9]. Digital transformation requires employees to master new skills and competencies. In this case, an increase in labor costs is possible, since investments in staff training are necessary. To master digital technologies, industry enterprises need to integrate with educational competence centers for digital transformation and light industry. For this, the experience of European countries in creating training centers for training industrial staff in digital skills and competencies can be useful. An example of such cooperation is the Digital Opportunity Center (DCC) and the ITA Academy in Aachen, Germany, which combined the competencies of light industry specialists and IT companies to strengthen the potential of digitalization.

Digital skills can be defined as acquired literacy, including personal, technical and intellectual habits that are necessary for adaptation in a digital society [10].

It should be noted that in the study conducted, not a single survey participant indicated the demand for digital skills in work. Most likely, this can be explained by the fact that the studied enterprise has not yet begun the process of digital transformation, and its leaders have little idea of all the advantages and possibilities of this transition.

Modern studies [7, 11] note that the lack of digital skills of staff is a key factor threatening the process of digital transformation of enterprises and industries. Digital skills are most developed in the field of IT, while their penetration into other industries is complicated by the need to apply them in a specific area along with professional skills. This gap can only be bridged through the mutual exchange of knowledge and skills between industry and IT.

The main skills for an effective digital transformation identified via online survey [11] were artificial intelligence, nanotechnology,

robotization, internet of things, augmented reality, digitalization; and the main digital learning contexts were mobile technologies, tablets, and smartphone applications – which are becoming more and more popular among the employees. This study will help organizations to rethink their strategies according to skills development to respond to the challenges of digital transformation.

Taking into account current trends in socio-economic development and the digital transformation of society, the changing nature of work and the emergence of new forms of employment, the requirements for the level of professional competencies of employees are constantly increasing and becoming more complex. That requires the development and application of new forms, methods of training and development of staff, as well as combining efforts of industrial and IT specialists.

Conclusions

The development of professional competencies and skills of staff is one of the most important factors that is necessary to increase the level of competitiveness of the domestic economy. Staff skills are becoming a key factor in the competitiveness of an organization, skills upgrowth requires the development of special training programs for staff, as well as investments in HR for their implementation. The lack of digital skills of the staff is a key factor holding back the process of digital transformation of enterprises and industries. To master digital technologies, industry enterprises need to integrate with educational competence centers for digital transformation in the textile, apparel and shoe industry.

The article was prepared based on the materials of the report of the 'INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI-2022)'; which took place on November 23–24, 2022 at the educational institution "Vitebsk State Technological University" (Republic of Belarus).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мальцева, В. А. (2019), Концепция skill mismatch и проблема оценки несоответствия когнитивных навыков в межстрановых исследованиях, *Вопросы образования*, 2019, №3, С. 43–76.
2. How long will your skills last? Depends on your job (2016), available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/09/how-long-work-skills-last-de-pends-on-job> (accessed 21 May 2022).
3. The Hybrid Job Economy: How New Skills are Rewriting the DNA of the Job Market. Burning Glass Technologies (2019), available at: https://www.burning-glass.com/wp-content/uploads/hybrid_jobs_2019_final.pdf (accessed 10 March 2022).
4. Nick, H. M. van Dam (2017), The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs, available at: <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-Jobs.pdf> (accessed 10 March 2022).
5. Makovskaya, N., Korabava, A., Aliakseyeva, A. (2022), Skills development for digital transformation in textile, *AIP Conference Proceedings 2430, 040011*, available at: <https://doi.org/10.1063/5.0077301> (accessed 15 May 2022).
6. Алексеева, Е. А. (2021), Гибридизация труда в условиях цифровой трансформации экономики, *Материалы 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов ВГТУ*, 2021, С. 108–110.
7. Scott Engler (2020), Lack of Skills Threatens Digital Transformation, available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/lack-of-skills-threatens-digital-transformation> (accessed 15 May 2022).

REFERENCES

1. Maltseva, V. A. (2019), The concept of skill mismatch and the problem of assessing the mismatch of cognitive skills in cross-country studies [Kontseptsiya skill mismatch i problema otsenki nesootvetstviya kognitivnykh navykov v mezhstranovykh issledovaniyakh], *Voprosy obrazovaniya – Educational Issues*, 2019, №3, pp. 43–76.
2. How long will your skills last? Depends on your job (2016), available at: <https://www.weforum.org/agenda/2016/09/how-long-work-skills-last-de-pends-on-job> (accessed 21 May 2022).
3. The Hybrid Job Economy: How New Skills are Rewriting the DNA of the Job Market. Burning Glass Technologies (2019), available at: https://www.burning-glass.com/wp-content/uploads/hybrid_jobs_2019_final.pdf (accessed 10 March 2022).
4. Nick, H.M. van Dam (2017), The 4th Industrial Revolution & The Future of Jobs, available at: <https://www.besthrcertification.org/docs/the-4th-industrial-revolution-the-future-of-Jobs.pdf> (accessed 10 March 2022).
5. Makovskaya, N., Korabava, A., Aliakseyeva, A. (2022), Skills development for digital transformation in textile, *AIP Conference Proceedings 2430, 040011*, available at: <https://doi.org/10.1063/5.0077301> (accessed 15 May 2022).
6. Alekseeva, E. A. (2021), Hybridization of labor in the context of digital transformation of the economy [Gibridizatsiya truda v usloviyakh tsifrovoy transformatsiyi ekonomiki], *Materials of the 54th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students of VSTU*, 2021, pp. 108–110.
7. Scott Engler (2020), Lack of Skills Threatens Digital Transformation, available at: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/lack-of-skills-threatens-digital-transformation> (accessed 15 May 2022).

8. Багаутдинова, Н. Г. (2018), Новые конкурентные преимущества в условиях цифровизации, *Инновации*, 2018, № 8, С. 80–83.
9. Силка, Д.Н. (2020), Приоритетные вопросы развития текстильной промышленности, *Технология текстильной промышленности*, 2020, № 1 (385), С. 37–43.
10. Зубрицкая, И. А. (2019), Индустрия 4.0: цифровая трансформация обрабатывающей промышленности Республики Беларусь, *Цифровая трансформация*, 2019, № 3 (8), С. 23–38.
11. Sousa, M. J., Rocha, A. (2019), Digital learning: Developing skills for digital transformation of organizations, *Future Generation Computer Systems*, 2019, V. 91, pp. 327–334.
- www.gartner.com/smarterwithgartner/lack-of-skills-threatens-digital-transformation (accessed 15 May 2022).
8. Bagautdinova, N. G. (2018), New competitive advantages in the context of digitalization [Novye konkurentnye preimuzchestva v usloviyakh tsifrovizatsiyi], *Innivatsyi – Innovations*, 2018, № 8, pp. 80–83.
9. Silka, D. N. (2020), Priority issues for the development of the textile industry [Prioritetnye voprosy razvitiya tekstilnoy promyshlennosti], *Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti – Textile industry technology*, 2020, № 1 (385), pp. 37–43.
10. Zubritskaya, I. A. (2019), Industry 4.0: digital transformation of the manufacturing industry of the Republic of Belarus [Industriya 4.0: tsyfrovaya transformatsiya obrabatyvauzchey promyshlennosti Respubliki Belarus], *Tsifrovaya transformatsiya – Digital transformation*, 2019, № 3 (8), pp. 23–38.
11. Sousa, M. J., Rocha, A. (2019), Digital learning: Developing skills for digital transformation of organizations, *Future Generation Computer Systems*, 2019, V. 91, pp. 327–334.

Статья поступила в редакцию 03. 04. 2022 г.

ИНФРАСТРУКТУРА РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ: ХАРАКТЕРИСТИКА И АНАЛИЗ БАЗОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

INFRASTRUCTURE OF THE SECURITIES MARKET OF THE REPUBLIC OF BELARUS: CHARACTERISTICS AND ANALYSIS OF THE BASIC ELEMENTS

УДК 336.76

А.С. Колокольчикова*, Е.В. Ванкевич

Витебский государственный технологический
университет<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-145-157>

A. Kolokolchikova*, A. Vankevich

Vitebsk State Technological
University

РЕФЕРАТ

РЫНОК ЦЕННЫХ БУМАГ, ИНФРАСТРУКТУРА РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ, БИРЖА, ДЕПОЗИТАРИЙ, РАСЧЕТНО-КЛИРИНГОВАЯ СИСТЕМА, ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ УЧАСТНИКИ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ, ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РЫНКА ЦЕННЫХ БУМАГ

Эффективность функционирования рынка ценных бумаг во многом определяется уровнем развития и функциональными характеристиками его инфраструктуры. Цель работы состоит в разработке рекомендаций по совершенствованию инфраструктуры рынка ценных бумаг Республики Беларусь на основе уточнения сущности и определения ее элементов, анализа их текущего состояния и выявления соответствия потребностям рынка.

Статья содержит определения и характеристику базовых элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг – торговой, депозитарной, расчетно-клиринговой систем, системы информационного обеспечения рынка, а также института профессиональных участников рынка ценных бумаг в лице брокеров, дилеров и доверительных управляющих. В работе представлен краткий обзор объемных показателей рынка ценных бумаг Республики Беларусь, приведены результаты сравнения состава базовых инфраструктурных элементов рынка ценных бумаг Беларуси и стран ЕАЭС. По результатам анализа сделаны выводы о способности существующей инфраструктуры обеспечить техническое и информационное взаимодействие его участников, сформулирова-

ABSTRACT

SECURITIES MARKET, INFRASTRUCTURE OF THE SECURITIES MARKET, STOCK EXCHANGE, DEPOSITORY, SETTLEMENT AND CLEARING SYSTEM, PROFESSIONAL PARTICIPANTS IN THE SECURITIES MARKET, INFORMATION SUPPORT OF THE SECURITIES MARKET

The efficiency of the functioning of the securities market is largely determined by the level of development and functional characteristics of its infrastructure. The purpose of the work is to develop recommendations for improving the infrastructure of the securities market of the Republic of Belarus on the basis of clarifying the essence and determining its elements, analyzing the current state and determining the needs of the market.

The article contains definitions and characteristics of the basic elements of the securities market infrastructure such as trading, depository, settlement and clearing systems, market information support systems, as well as the institution of professional participants in the securities market represented by brokers, dealers and trustees. The paper presents a brief overview of the volume indicators of the securities market of Belarus, presents the results of a comparison of the composition of the basic infrastructure elements of the securities market of Belarus and the EAEU countries. Based on the results of the analysis, conclusions were drawn about the ability of the existing infrastructure to provide technical and informational interaction of its participants, recommendations were formulated for improving the domestic securities market and its infrastructure.

* E-mail: alina.kolokolchikova@gmail.com (A. Kolokolchikova)

ны рекомендации по совершенствованию отечественного рынка ценных бумаг и его инфраструктуры.

Развитый и динамичный рынок ценных бумаг позволяет аккумулировать и эффективно перераспределять свободный капитал, направляя его на развитие наиболее перспективных отраслей, предприятий и проектов. Многие страны активно используют это преимущество для финансирования своих национальных экономик. В то же время роль белорусского рынка ценных бумаг в перераспределении денежных ресурсов и поддержке реального сектора экономики минимальна.

Осознавая важность преодоления этой проблемы, в Беларуси принята Государственная программа «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка» на 2020 год и на период до 2025 года, утвержденная Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 143, предусматривающая конкретные меры по стимулированию отечественного рынка ценных бумаг, уделяя особое внимание развитию его инфраструктуры.

Инфраструктура рынка ценных бумаг представляет собой совокупность элементов, обеспечивающих его бесперебойное функционирование. Надежная, технологичная и развитая инфраструктура – обязательное требование к рынку. В этих условиях возрастает актуальность уточнения базовых элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг, изучение их текущего состояния и определение направлений дальнейшего развития.

Сущность и состав базовых элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг

Инфраструктура рынка ценных бумаг – совокупность технологий, используемых для заключения и исполнения сделок, выраженная в разных технических средствах, институтах (организациях), нормах и правилах [1, с. 147]. От эффективности и надежности функционирования элементов инфраструктуры зависят бесперебойная работа самого рынка и доверие к нему со стороны инвесторов и эмитентов.

Основная задача инфраструктуры рынка ценных бумаг состоит в создании условий для свободного, оперативного и безопасного взаимодействия участников рыночных отношений в процессе перераспределения между ними денежных средств и ценных бумаг. Достоинства специализации и применение современных технологических решений, предлагаемых инфраструктурой рынка, удешевляют поиск контрагента и снижают удельную стоимость услуг по оформлению и проведению операций с ценными бумагами, а также снижают риски продавцов и покупателей в процессе осуществления сделок.

Экономическая литература не содержит единого перечня элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг или имеет различные подходы к его наполнению. Например, Тихомиров А.Ф., описывая инфраструктуру рынка ценных бумаг, считает, что для обеспечения сделок на рынке должны быть созданы следующие системы: торговая система, система ведения реестра, система регистрации прав собственности, система платежа, система клиринга, система раскрытия информации [1, с. 147–151]. Решетникова Т.В. выделяет следующие институты инфраструктуры: регистраторов, депозитарию, клиринговые организации, организаторов торговли, в т. ч. биржи [2, с. 66]. Молодкин Ю.А. предложил выделять в качестве элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг учетную, торговую, расчетно-клиринговую, регулируемую, информационную, страховую, инновационную и техническую инфраструктуры [3]. Несмотря на различия в составе элементов, все авторы в качестве методологической основы в той или иной мере используют законодательно установленный перечень работ и услуг, составляющих профессиональную и биржевую деятельность по ценным бумагам. Данные элементы можно считать базовыми.

В состав базовых элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг Республики Беларусь целесообразно включать торговую, депозитарную, расчетно-клиринговую системы, а также инсти-

тут профессиональных участников рынка в лице брокеров, дилеров и доверительных управляющих. Принимая во внимание особую роль информации на рынке ценных бумаг, в качестве обязательного элемента инфраструктуры также предлагается выделять систему информационного обеспечения участников рынка ценных бумаг.

Торговая система представлена торговыми площадками, оказывающими услуги, связанные с обеспечением необходимых условий для совершения сделок купли-продажи ценных бумаг. Такими площадками могут быть биржи и внебиржевые организаторы торгов. Основные функции торговой системы – организация открытых торгов ценными бумагами, определение их равновесной рыночной цены, арбитраж и обеспечение гарантий исполнения сделок.

Депозитарная система предназначена для обеспечения централизованного учета ценных бумаг и прав на них, также осуществления переводов ценных бумаг. На практике данный механизм реализуется депозитариями посредством открытия счетов «депо», на которых в виде записей осуществляется учет бездокументарных ценных бумаг. Стоит отметить, что некоторым рынкам ценных бумаг наряду с депозитарной системой присущ еще один элемент – регистраторская система, осуществляющая сбор, фиксацию, обработку, хранение и предоставление данных, включенных в реестр владельцев ценных бумаг. В Беларуси, как и во многих других странах (Германия, Швеция, Швейцария), функция ведения реестров интегрирована в деятельность депозитариев [4].

Расчетно-клиринговая система представляет собой систему определения подлежащих исполнению обязательств по переводу ценных бумаг и денежных средств по совершенным сделкам купли-продажи ценных бумаг, включая сбор, сверку и корректировку информации, а также подготовку документов, являющихся основанием для прекращения и (или) исполнения таких обязательств.

Профессиональные участники рынка ценных бумаг – юридические лица, получившие специальное разрешение (лицензию) на осуществление профессиональной деятельности по ценным бумагам. В широком смысле организаторы тор-

гов, депозитарии и клиринговые организации также относятся к числу профучастников. Однако в данном контексте речь идет об участниках рынка, которые выступают в роли квалифицированных посредников (брокеры, доверительные управляющие) или реализуют свои собственные деловые стратегии на рынке ценных бумаг (дилеры).

Информационная система – это система обеспечения участников рынка ценных бумаг информацией, генерируемой в процессе осуществления операций с ценными бумагами. Она включает в себя различные информационные и аналитические сервисы, предоставляющие инвесторам данные и сведения, необходимые для принятия инвестиционных решений: информацию о видах и котировках обращающихся ценных бумаг, объемах торгов, индексах и т.д.

Все элементы инфраструктуры тесно взаимосвязаны между собой и эффективно функционируют только при условии гармонизации бизнес-процессов и бесперебойной работы каждого из них.

Краткий обзор объемных показателей рынка ценных бумаг Республики Беларусь

Формально рынок ценных бумаг в Республике Беларусь появился в 1992 году с принятием Закона Республики Беларусь от 12 марта 1992 г. № 1512-XII «О ценных бумагах и фондовых биржах». Драйвером развития рынка акций стал переход страны к рыночным механизмам хозяйствования и начавшиеся в 1993 году процессы приватизации государственной собственности, вследствие которых в Беларуси образуются открытые акционерные общества, происходит первичное распределение акций среди частных владельцев. Рынок облигаций независимой Беларуси начал свое становление в 1994 году, когда в целях управления внутренним госдолгом были эмитированы первые выпуски государственных краткосрочных облигаций. Выпуск корпоративных облигаций в Беларуси впервые был осуществлен в 1997 году.

Совокупный объем выпусков всех акций и облигаций на белорусском рынке на 1 января 2022 г. составил 77 606,68 млн рублей или 44,8 % ВВП (рисунок 1).

В период с 2018 по 2021 годы совокупный объем выпуска ценных бумаг ежегодно прирас-



Рисунок 1 – Совокупный объем выпусков ценных бумаг, млн рублей

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

тал и по сравнению с 1 января 2018 г. увеличился на 15 886,3 млн рублей, или на 25,7 %. В 2019 году на фоне введения ограничений на эмиссию валютных облигаций темп роста объема выпуска несколько замедлился, однако в последующие два года рынок продемонстрировал прирост бо-

лее чем на 10 %.

Объем зарегистрированных (новых) выпусков ценных бумаг за анализируемый период изменялся неоднозначно (рисунок 2).

Объем зарегистрированных выпусков в 2019 году сократился по сравнению с 2018 годом на



Рисунок 2 – Объем зарегистрированных выпусков ценных бумаг, млн рублей

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

39 %: так, эмитенты, в особенности – банки, отреагировали на введение ограничений на выпуск валютных облигаций. В 2020 году объем эмиссии новых выпусков ценных бумаг восстановился и даже превысил показатель 2018 года, однако это произошло не за счет новых эмитентов, а за счет дополнительных выпусков акций уже существующими акционерными обществами. Данный подход активно используется в белорусских акционерных обществах как инструмент пополнения капитала предприятий на величину государственной поддержки (акции, эмитированные на сумму такой поддержки, передаются в собственность государства). В 2021 году объем выпусков ценных бумаг снова снизился – на 6,7 % до 9143,4 млн рублей.

Общий объем операций со всеми видами ценных бумаг на всех сегментах фондового рынка в 2021 году составил 29 274,17 млн рублей или 16,9 % к ВВП (рисунок 3).

В 2021 году по сравнению с 2020 годом общий объем операций на рынке ценных бумаг вырос на 4,2%. За анализируемый период прирост фиксировался впервые: в 2019 году рынок упал на 0,4 %, в 2020 году – на 5,6 %. Вместе с тем увеличение объемов операций в 2021 году не позволило достичь уровня 2018 года: суммарно

рынок за анализируемый период сократился на 609,21 млн руб. или на 2 %.

Таким образом, в 2021 году рынок ценных бумаг Беларуси прирос в совокупном объеме выпусков и продемонстрировал положительную динамику по объему операций. Вместе с тем анализ показал, что между этими показателями зафиксирован существенный разрыв: суммарный объем выпуска ценных бумаг составляет 44,8 % ВВП, тогда как объем сделок составляет лишь 16,9 % ВВП. Это свидетельствует о том, что большая часть выпущенных ценных бумаг не включена в рыночный оборот, а рынок не способствует перераспределению денежных средств.

Характеристика инфраструктурных элементов рынка ценных бумаг Республики Беларусь

С появлением в Беларуси рынка корпоративных и государственных ценных бумаг началась масштабная работа по формированию рыночной инфраструктуры, призванной обеспечить необходимое техническое и информационное взаимодействие контрагентов на рынке.

Торговая система Республики Беларусь представлена единственной торговой площадкой – ОАО «Белорусская валютно-фондовая биржа» (ОАО «БФВБ»). История ОАО «БФВБ» началась в 1993 году с создания в Беларуси ЗАО «Меж-

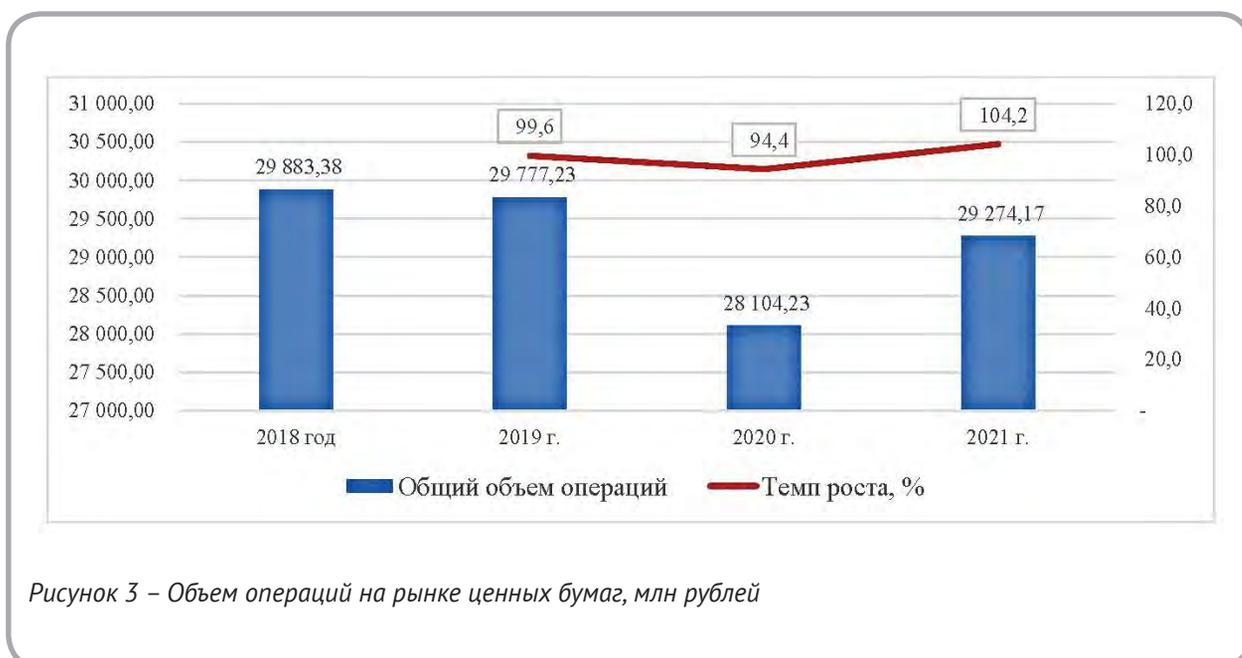


Рисунок 3 – Объем операций на рынке ценных бумаг, млн рублей

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

банковская валютная биржа». Первоначально биржа функционировала исключительно как платформа для торговли иностранной валютой. В 1996 году она была наделена дополнительными функциями организатора торгов государственными облигациями, а свой нынешний статус получила в 1998 году, когда Указом Президента Республики Беларусь от 20 июля 1998 г. № 366 «О совершенствовании системы государственного регулирования рынка ценных бумаг» на базе государственного учреждения «Межбанковская валютная биржа» было создано ОАО «БВФБ» [8].

Более 99,9 % акций ОАО «БВФБ» принадлежат государству, что делает биржу одним из основных государственных регуляторов рынка и отличает от многих зарубежных биржевых институтов, акции которых являются самостоятельным объектом торговли на организованном рынке. Например, по состоянию на 31 декабря 2021 г. 63,7 % акций ПАО «Московская биржа» находились в свободном обращении на рынке ценных бумаг [9]. Национальному банку Республики Казахстан по состоянию на 31 октября 2022 г. принадлежало лишь 47 % акций, оставшиеся ценные бумаги распределены между 47 частными акционерами [10].

Программное обеспечение и функционал ОАО «БВФБ» позволят совершать сделки в общепринятых режимах – режиме аукционов, «форвардные сделки» и «РЕПО». Однако согласно статистике операции на рынке ценных бумаг Беларуси осуществляются преимущественно на внебиржевом рынке (рисунок 4).

Объем сделок на биржевом рынке ценных бумаг в 2021 году составил 7552,78 млн рублей, что на 39,4 % меньше в сравнении с 2020 годом. Доля биржевого рынка составляет всего 25,8 %.

Торговля на ОАО «БВФБ» осуществляется в отношении государственных и корпоративных облигаций, облигаций Национального банка Республики Беларусь и местных исполнительных органов, акций открытых акционерных обществ, инвестиционных паев, ценных бумаг эмитентов-нерезидентов (допущенных к торгам). Вместе с тем основными финансовыми инструментами, реализуемыми на ОАО «БВФБ», являются облигации (таблица 1). Объем сделок на рынке акций составляет менее 1 %. Такие же пропорции сохраняются и по рынку в целом.

В 2021 году в торговой системе ОАО «БВФБ» заключено 13 149 сделок на общую сумму 7552,78 млн рублей [8]. По сравнению с 2020 годом количество сделок в биржевой системе уве-

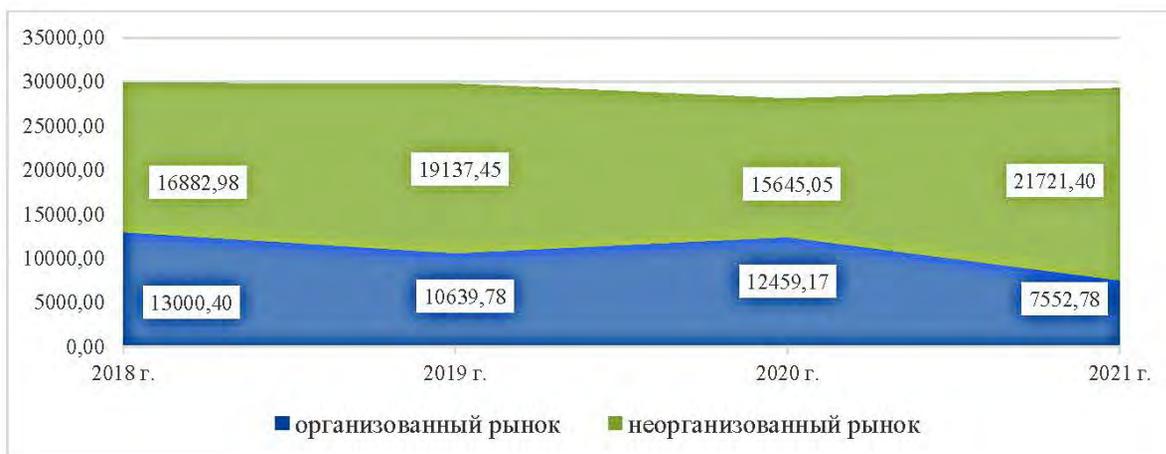


Рисунок 4 – Объем операций с ценными бумагами, млн рублей

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

Таблица 1 – Объем биржевых торгов на ОАО «БВФБ» в 2018–2021 гг., млн рублей

Финансовый инструмент	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Темп роста 2021 г. к 2020 г., %
Акции	95,74	34,48	1056,61	51,05	48,3
Облигации	12904,66	10605,29	12353,51	7501,72	60,7
Итого	13000,40	10639,78	12459,17	7552,78	60,6

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

личилось на 416 штук (+3,41 %), что произошло в основном за счет увеличения количества сделок РЕПО с государственными облигациями.

Биржевой рынок акций в денежном выражении сократился более чем наполовину (-51,7 %), рынок облигаций просел на 39,3 % до 7501,72 млн рублей. Снижение интереса инвесторов к инструментам, обращающимся на биржевом рынке, обусловлено введением ограничений на выпуск и обращение облигаций, номинированных в иностранной валюте, в рамках проводимой дедолларизации экономики, а также снижением темпов роста реальных располагаемых доходов населения и негативными ожиданиями рыночных субъектов на фоне экономической и геополитической напряженности.

Функции ОАО «БВФБ» не ограничиваются биржевой торговлей валютой и первичными инструментами рынка ценных бумаг. В 2007 году на бирже стали доступны инструменты срочного рынка (фьючерсные контракты на курсы иностранной валюты, цены золота и серебра), а в 2016 году ОАО «БВФБ» получила статус Национального форекс-центра. На практике торговля производными ценными бумагами не получила широкого распространения: редкие сделки с фьючерсами производились, скорее, в тестовом режиме. Суммарный объем операций рынка Форекс по итогам 2021 года сложился на уровне 1168 млрд рублей [8].

Депозитарная система. Первоначальное состояние депозитарной системы Беларуси не позволяло вести должный учет изменений прав собственности на ценные бумаги: учет осуществляли многочисленные реестродержатели, а иногда и сами эмитенты. В 1994 году Национальный банк Республики Беларусь выступил с инициативой о создании двухуровневой депозитарной систе-

мы, включающей Центральный депозитарий и региональные депозитарии второго уровня. В рамках такой системы данные о собственниках ценных бумаг хранятся в региональных депозитариях, а в Центральный депозитарий передается информация об общем количестве ценных бумаг. Преимущества такой системы состоят в снижении рисков утраты информации и равномерном распределении нагрузки на депозитарную систему.

В 1995 году в целях осуществления централизованного учета и хранения ценных бумаг было создано ЗАО «Республиканский центральный депозитарий ценных бумаг» (ЗАО «РЦДЦБ»), которое в результате последующих преобразований стало республиканским унитарным предприятием и было определено центральным депозитарием Республики Беларусь [11]. РУП «РЦДЦБ» обеспечивает централизованный учет ценных бумаг, осуществляет контроль за общим количеством ценных бумаг каждого выпуска во всей депозитарной системе.

Параллельно в Беларуси была сформирована система депозитариев второго уровня, которая по состоянию на 1 января 2022 г. насчитывает 28 депозитариев [12].

Совокупно по состоянию на 1 января 2021 г. в депозитарной системе было открыто 1 298 608 счетов «депо» [12]. Однако данная цифра не отражает инвестиционной активности населения и реальной загруженности депозитариев, так как большая часть этих счетов была открыта физическим лицам еще в процессе приватизации, после чего операции по счетам не производились.

С созданием в Беларуси правовой основы для внедрения механизмов секьюритизации и института коллективных инвестиций, депозитарная система дополнилась двумя специализирован-

ными депозитариями выделенных активов (ОАО «Белагропромбанк» и ОАО «АСБ Беларусбанк») и специализированным депозитарием инвестиционного фонда (ОАО «АСБ Беларусбанк»).

РУП «РЦДЦБ» установлены корреспондентские отношения с 7 иностранными депозитариями в России, Казахстане, Армении, Кыргызстане и Азербайджане. Такие отношения создают условия для обеспечения учета ценных бумаг белорусских эмитентов, размещаемых (обращающихся) за рубежом, и ценных бумаг эмитентов-нерезидентов, допущенных к торгам на территории Беларуси. На практике полноценной работе данного функционала препятствуют отсутствие единообразного законодательства и программно-технические ограничения.

Расчетно-клиринговая система. Некоторое время расчеты по сделкам с ценными бумагами в Беларуси производились участниками рынка самостоятельно путем перевода денежных средств со счета покупателя на счет продавца и последующей передачи ценных бумаг из депозитария продавца в депозитарий покупателя с регистрацией перехода права собственности на ценные бумаги в реестре акционеров. В целях снижения расчетных рисков в 1999 году начался процесс формирования расчетно-клиринговой системы, а в 2000 году ОАО «БВФБ» начала осуществлять клиринг по всем заключенным на её торгах сделкам [13].

Современная расчетно-клиринговая система Беларуси представлена следующими участни-

ками: ОАО «БВФБ» (оператор расчетно-клиринговой системы, имеющий право подписи документов, на основании которых осуществляется движение активов по счетам, открытым в депозитариях и банках); РУП «РЦДЦБ» (расчетный депозитарий); Национальный банк Республики Беларусь (расчетный банк); депозитарии второго уровня; коммерческие банки [8].

ОАО «БВФБ» осуществляет многосторонний клиринг по биржевым сделкам, определяя взаимные обязательства участников торгов с использованием процедуры неттинга. Расчеты выполняются по принципу «поставка против платежа» с использованием предварительного резервирования ценных бумаг и денежных средств.

Профессиональные участники рынка ценных бумаг. По состоянию на 1 января 2022 г. профессиональную деятельность на рынке ценных бумаг осуществляло 52 участника, в том числе 23 коммерческих банка (44,2 %), 27 организаций небанковской сферы (51,9%), а также Национальный банк Республики Беларусь и ОАО «Банк развития Республики Беларусь» (таблица 2).

За четыре года количество профессиональных участников рынка ценных бумаг уменьшилось на 10 организаций. При этом банковский сектор в структуре профучастников остаётся стабильным, а вот число участников рынка из небанковской сферы имеет тенденцию к сокращению. Например, в 2021 году были прекраще-

Таблица 2 – Количество и состав профессиональных участников рынка

Показатель	01.01.2018	01.01.2019	01.01.2020	01.01.2021	01.01.2022	Темп роста 2022 г. к 2018 г., %
Количество профучастников, в том числе:	62	61	59	56	52	83,9
коммерческие банки	24	24	24	24	23	95,8
небанковские организации	35	35	33	30	27	77,1

Источник: составлено автором по данным [5], [6], [7].

ны лицензии 6 профучастников (в основном – по инициативе лицензиатов), в то время как новые лицензии получили только 2 организации.

Лицензию на осуществление брокерской деятельности по состоянию на 1 января 2022 г. имели 49 участников, дилерской деятельностью вправе заниматься 50 профучастников, доверительным управлением – 25 участников. Примечательно, что только 5 брокеров предоставляют своим клиентам дистанционные каналы обслуживания.

Общее количество аттестованных специалистов на рынке ценных бумаг по состоянию на 1 января 2022 г. составило 2716 человек, что на 114 человек меньше, чем на 1 января 2021 г., и на 868 специалистов меньше, чем в начале 2018 года [7]. Сокращение количества аттестованных специалистов обусловлено уменьшением количества открытых акционерных обществ, в штате которых обязательно должен состоять аттестованный специалист, а также централизацией функций по работе с ценными бумагами в банковской сфере, в связи с чем потребность в специалистах данного профиля заметно снизилась.

Система информационного обеспечения рынка. Основным источником информации на отечественном рынке ценных бумаг является ОАО «БВФБ». Биржа на постоянной основе информирует всех заинтересованных лиц об итогах торгов, формирует справочник ценных бумаг и эмитентов, публикует информацию о торгуемых инструментах и биржевых котировках ценных бумаг в режиме «непрерывный двойной аукцион» и «форвардные сделки» с 15-минутной задержкой. Следить за ходом биржевых торгов в режиме онлайн позволяют платные информационные сервисы.

На базе ОАО «БВФБ» функционирует Белорусская котировочная автоматизированная система (БЕКАС). Информация для участников рынка здесь представлена в двух модулях:

- модуль «Индикативные заявки» по содержанию напоминает «доску объявлений» о покупке, продаже и скупке ценных бумаг для поиска потенциальных контрагентов;

- модуль ИКС «Внебиржевой рынок» аккумулирует информацию о внебиржевых сделках, полученную от профессиональных участников

рынка ценных бумаг. Данный модуль используется для контроля, хранения и обработки данных о сделках на неорганизованном рынке. Инвесторам данная информация в свободном доступе не предоставляется.

В целях организации информационного обеспечения участников финансового рынка создан Единый портал финансового рынка (ЕПФР). Посредством размещения на портале эмитенты и профучастники публикуют периодическую отчетность и информацию о существенных фактах своей деятельности (о сборе реестра акционеров, выплате дивидендов, совершении крупных сделок, фактах неисполнения обязательств по облигациям и др.). На портале также доступна справочная информация биржи, депозитариев и регулятора рынка.

Кроме ЕПФР участники рынка используют и другие способы раскрытия обязательной информации: печатные средства массовой информации, собственные официальные сайты, сайт РУП «РЦДЦБ». Вместе с тем многообразие способов раскрытия информации, на наш взгляд, не позволяет инвесторам сформировать комплексное и быстрое представление об эмитентах и инструментах рынка из одного источника.

Таким образом, инфраструктура рынка ценных бумаг Беларуси представлена:

- ОАО «БВФБ», выполняющей функции единственного организатора торгов и оператора расчетно-клиринговой системы, а также одного из главных поставщиков информации о рынке. Практический опыт свидетельствует о том, что ОАО «БВФБ» имеет достаточные технические возможности и необходимые функциональные характеристики для сопровождения сделок с ценными бумагами и в полной мере справляется с комплексом возложенных функций;

- РУП «РЦДЦБ» и 28 депозитариями второго уровня, осуществляющими двухуровневый учет ценных бумаг и прав на них. Внутреннее взаимодействие внутри депозитарной системы отлажено, учет ценных бумаг иностранных эмитентов требует доработки;

- 52 профессиональными участниками рынка, оказывающими посреднические услуги своим клиентам. Количество профучастников, на наш взгляд, адекватно объемам рынка, однако лишь немногие из них предлагают своим клиентам

возможности совершения сделок в удаленном режиме.

Рекомендации по развитию инфраструктуры рынка ценных бумаг в Республике Беларусь

К своему тридцатилетию рынок ценных бумаг Республики Беларусь сформировал необходимую инфраструктуру: функционирует национальная фондовая биржа, сформирована двухуровневая депозитарная система, создан расчетно-клиринговый механизм, организовано информационное обеспечение участников рынка ценных бумаг. Интересы инвесторов представляет сеть брокеров, дилеров и доверительных управляющих.

Аналогичные инфраструктурные элементы характерны и для рынка ценных бумаг других стран, в том числе стран-участниц ЕАЭС (таблица 3).

Очевидно, что страны ЕАЭС имеют схожий качественный состав базовых элементов инфраструктуры рынка ценных бумаг за исключением следующих аспектов:

- функции института реестродержателей в Беларуси выполняет вся депозитарная система, в Казахстане – центральный депозитарий;
- деятельность расчетно-клиринговых организаций на рынке ценных бумаг Кыргызстана не предусмотрена, клиринговые операции вправе выполнять депозитарии.

Характеристики базовых элементов инфраструктуры отечественного рынка ценных бумаг свидетельствуют о готовности и технической способности рынка обеспечить взаимодействие

участников рынка и перераспределение инвестиционных ресурсов. Вместе с тем совершенствование сложившейся инфраструктуры может быть достигнуто за счет:

- формирования нового инфраструктурного института – инвестиционных фондов, которые, согласно международному опыту, могут стать активными и авторитетными участниками рынка ценных бумаг за счет аккумулирования значительных объемов денежных средств, предназначенных для последующего инвестирования в развитие экономики. Такие фонды уже функционируют в ЕАЭС – в Казахстане, Кыргызстане и России. Стоит отметить, что Государственной программой «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка» на 2020 год и на период до 2025 года, утвержденной Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 143, предусмотрено проведение работы по активизации индустрии инвестиционных фондов, в частности, в Беларуси уже создан специализированный депозитарий инвестиционного фонда [15];

- установления взаимодействия с международными депозитариями и расчетно-клиринговыми организациями в целях создания условий для прямого допуска иностранных инвесторов к операциям с ценными бумагами на внутреннем рынке ценных бумаг. Можно предположить, что способствовать этому будет введение института «номинального держателя», которое предусмотрено Законом Республики Беларусь от 18 июля

Таблица 3 – Количественные характеристики инфраструктуры рынка ценных бумаг стран ЕАЭС по состоянию на конец 2021 г.

	Армения	Беларусь	Казахстан	Кыргызстан	Россия
Организаторы торгов	1	1	1	4	6
Депозитарии	1	30	1	6	250
Реестродержатели	1	-	-	20	31
Расчетно-клиринговые организации	7	1	1	-	6
Брокеры	32	51	38	35	251
Дилеры	32	52	38	32	279
Доверительные управляющие	8	25	18	14	182

Источник: [14].

2022 г. № 197-З «Об изменении законов по вопросам рынка ценных бумаг» (вступает в силу в 2023 году). В рамках нововведения предполагается открытие депозитариям-нерезидентам в Центральном депозитарии Беларуси счетов «депо» для учета прав на ценные бумаги, в отношении которых депозитарии-нерезиденты не являются владельцами и осуществляют их учет в интересах своих клиентов [16];

- интеграции информационных ресурсов ОАО «БВФБ» с данными ЕПФР в целях создания единого информационного поля для инвесторов;

- повышения доступности и удобства рынка для частных инвесторов за счет активного внедрения и распространения брокерами мобильных приложений для осуществления сделок купли-продажи ценных бумаг;

- проведения ОАО «БВФБ» информационной кампании в целях повышения осведомленности бизнеса и частных лиц о возможностях и инструментах биржевого рынка ценных бумаг.

Стоит отметить, что развитие инфраструктуры происходит параллельно с развитием самого рынка: потребности участников рынка вынуждают системы совершенствоваться, а увеличение числа сделок и оборотов по ценным бумагам приводит к удешевлению содержания инфраструктурных элементов. Именно поэтому белорусскому рынку необходимо сосредоточить своё внимание на повышении качества и разнообразия предлагаемых финансовых инструментов и развитии инвестиционной культуры, что обеспечит приток инвесторов на рынок ценных бумаг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Тихомиров, А. Ф. (2015), Рынок ценных бумаг: Финансовые инструменты и институты, режим доступа: <https://elib.spbstu.ru/dl/2/6936.pdf/download/6936.pdf?lang=en> (дата доступа 01.10.2022).
2. Татьянников, В. А. (2019), *Рынок ценных бумаг*, Екатеринбург, 496 с.
3. Молодкин, А. Ю. (2009), Об инфраструктуре рынка ценных бумаг Российской Федерации, *Аудит и финансовый анализ*, 2009, № 1.
4. Мерзликина, К. С. (2020), Регулирование деятельности учетных институтов рынка ценных бумаг: ретроспектива и перспектива, *Вектор экономики*, 2020, № 6.
5. Отчет о работе Департамента по ценным бумагам Министерства финансов Республики Беларусь в 2019 году, режим доступа: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/2f232de1d1834076.html (дата доступа 01.10.2022).

REFERENCES

1. Tihomirov, A. F. (2015), Securities Market: Financial Instruments and Institutions [Rynok cennyh bumag: Finansovye instrumenty i instituty], available at: : <https://elib.spbstu.ru/dl/2/6936.pdf/download/6936.pdf?lang=en> (accessed 01.10.2022).
2. Tat'jannikov, V. A. (2019), *Rynok cennyh bumag* [Securities Market], Yekaterinburg, 496 p.
3. Molodkin, A. Ju. (2009), On the infrastructure of the securities market of the Russian Federation [Ob infrastrukture rynka cennyh bumag Rossijskoj Federacii], *Audit i finansovyj analiz – Audit and financial analysis*, 2009, № 1.
4. Merzlikina, K. S. (2020), Regulation of activities of accounting institutions of the securities market: retrospective and perspective [Regulirovanie dejatel'nosti uchetnyh institutov rynka cennyh bumag: retrospektiva i perspektiva], *Vektor jekonomiki – Economy vector*, 2020, № 6.
5. Report on the work of the Securities Department of the Ministry of Finance of the Republic of

6. Отчет о работе Департамента по ценным бумагам Министерства финансов Республики Беларусь в 2020 году, режим доступа: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/930a296dce5f4383.html (дата доступа 01.10.2022).
7. Отчет о работе Департамента по ценным бумагам Министерства финансов Республики Беларусь в 2021 году, режим доступа: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/f77133af39e349eb.html (дата доступа 01.10.2022).
8. Белорусская валютно-фондовая биржа, режим доступа: <https://www.bcse.by/> (дата доступа 01.10.2022).
9. Московская биржа, режим доступа: <https://report2021.moex.com/ru/3/2/index.html> (дата доступа 31.10.2022).
10. Казахстанская фондовая биржа, режим доступа: <https://kase.kz/ru/shareholders/> (дата доступа 31.10.2022).
11. Маманович, П. (2001), Центральный депозитарий Национального банка Республики Беларусь в системе расчетов по ценным бумагам, *Банковский вестник*, 2001, № 7 (156), С. 10–15.
12. Республиканский центральный депозитарий ценных бумаг, режим доступа: <https://www.centraldepo.by/> (дата доступа 31.10.2022).
13. Маманович, П. (2009), Клиринг как элемент системы расчетов по операциям с ценными бумагами, *Банковский вестник*, 2009, № 7 (444), С. 4–11.
14. Финансовые организации в Евразийском экономическом союзе, режим доступа: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_stat/fin_stat/statistical_publications/Documents/finstat_3/finstat_3_2021.pdf (дата доступа 14.11.2022).
- Belarus in 2019 [Otchet o rabote Departamenta po cennym bumagam Ministerstva finansov Respubliki Belarus' v 2019 godu], available at: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/2f232de1d1834076.html (accessed 01.10.2022).
6. Report on the work of the Securities Department of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus in 2020 [Otchet o rabote Departamenta po cennym bumagam Ministerstva finansov Respubliki Belarus' v 2020 godu], available at: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/930a296dce5f4383.html (accessed 01.10.2022).
7. Report on the work of the Securities Department of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus in 2021 [Otchet o rabote Departamenta po cennym bumagam Ministerstva finansov Respubliki Belarus' v 2021 godu], available at: https://www.minfin.gov.by/securities_department/reports/doc/f77133af39e349eb.html (accessed 01.10.2022).
8. Belarusian Currency and Stock Exchange [Belorusskaja valjutno-fondovaja birzha], available at: <https://www.bcse.by/> (accessed 01.10.2022).
9. Moscow Exchange [Moskovskaja birzha], available at: <https://report2020.moex.com/ru/3/2/index.html> (accessed 31.10.2022).
10. Kazakhstan Stock Exchange [Kazahstanskaja fondovaja birzha], available at: <https://kase.kz/ru/shareholders/> (accessed 31.10.2022).
11. Mamanovich, P. (2001), Central Depository of the National Bank of the Republic of Belarus in the securities settlement system [Central'nyj depozitarij Nacional'nogo banka Respubliki Belarus' v sisteme raschetov po cennym bumagam], *Bankovskij vestnik – Bank Gazette*, 2001, № 7 (156), pp. 10–15.
12. Republican Central Securities Depository [Respublikanskij central'nyj depozitarij cennyh

15. О государственной программе «Управление государственными финансами и регулирование финансового рынка» на 2020 год и на период до 2025 года: Постановление Совета Министров Республики Беларусь, 12 марта 2020 г., № 143.
16. Закон Республики Беларусь от 18 июля 2022 г. № 197-З «Об изменении законов по вопросам рынка ценных бумаг», режим доступа: https://www.minfin.gov.by/upload/depcent/acts/zakon_180722_197_z.pdf (дата доступа 14.11.2022).
13. Mamanovich, P. (2009), Clearing as an element of the settlement system for operations with securities [Kliring kak jelement sistemy raschetov po operacijam s cennymi bumagami], *Bankovskij vestnik – Bank Gazette*, 2009, № 7 (444), pp. 4–11.
14. Financial organizations in the Eurasian Economic Union [Finansovye organizacii v Evrazijskomjekonomicheskomsojuze], available at: http://www.eurasiancommission.org/ru/act/integr_i_makroec/dep_stat/fin_stat/statistical_publications/Documents/finstat_3/finstat_3_2021.pdf (accessed 14.11.2022).
15. On the state program «Public Financial Management and Regulation of the Financial Market» for 2020 and for the period up to 2025: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, March 12, 2020, No. 143 [O gosudarstvennoj programme «Upravlenie gosudarstvennymi finansami i regulirovanie finansovogo rynka» na 2020 god i na period do 2025 goda: Postanovlenie Soveta Ministrov Respubliki Belarus', 12 marta 2020g., № 143].
16. Law of the Republic of Belarus dated July 18, 2022 No. 197-Z «On amendments to laws on issues of the securities market» [Zakon Respubliki Belarus' ot 18 ijulja 2022 g. № 197-Z «Ob izmenenii zakonov po voprosam rynka cennyh bumag»], available at: https://www.minfin.gov.by/upload/depcent/acts/zakon_180722_197_z.pdf (accessed 31.10.2022).

Статья поступила в редакцию 02. 11. 2022 г.

СКОРИНГОВЫЕ МОДЕЛИ В АНАЛИЗЕ ДОХОДОВ И РАСХОДОВ ОРГАНИЗАЦИИ**SCORING MODELS IN THE ANALYSIS OF INCOME AND EXPENSES OF THE ORGANIZATION**

УДК 336.6

П.О. Немкина*, Т.В. Касаева*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-158-168>**P. Nemkina*, T. Kasaeva***Vitebsk State Technological University***РЕФЕРАТ**

ДОХОДЫ, РАСХОДЫ, АНАЛИЗ, СКОРИНГ, КРЕДИТНЫЙ СКОРИНГ, ПРОДУКТОВЫЙ СКОРИНГ, СОЦИАЛЬНЫЙ СКОРИНГ, ФИНАНСОВЫЙ СКОРИНГ, СКОРИНГОВАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОХОДОВ

Оценка качества доходов организации, функционирующей в рыночных условиях, безусловно, является преобладающей в области управления ее финансово-хозяйственной деятельностью. Необходимо отметить, что результативность финансового анализа в значительной степени зависит от применяемых аналитических инструментов.

Цель исследования – развитие методических аспектов применения скоринговых моделей в практике анализа хозяйственной деятельности коммерческих организаций для оценки качества полученных доходов и понесенных расходов.

В современной теории и практике анализ доходов и расходов коммерческой организации рассматривается в большинстве случаев как составная часть анализа финансовых результатов деятельности компании. В связи с этим анализируется не столько качество полученных доходов, сколько полученные разницы между соответствующими друг другу доходами и расходами и финансовые результаты, полученные от текущей, инвестиционной и финансовой деятельности. Применение современных подходов к оценке финансовой эффективности бизнеса, по мнению авторов, требует развития направлений анализа, связанных с оценкой качества доходов и расходов, основанной на динамических пропорциях и

ABSTRACT

INCOME, EXPENSES, ANALYSIS, SCORING, CREDIT SCORING, GROCERY SCORING, SOCIAL SCORING, FINANCIAL SCORING, SCORING MODEL FOR ASSESSING THE QUALITY OF INCOME

In modern conditions of development of the national economy, the tasks of operational analysis of the financial condition and financial performance of commercial organizations, timely identification of existing risks and finding balanced management decisions are particularly relevant. In this concept, the income and expenses of the organization are considered as factors of the formation of the financial result of the organization and the objects of management. An objective assessment of the quality of income received and expenses incurred can serve as information support for making appropriate decisions. The study of the theory and practice of economic analysis has shown that today one of the most effective tools for solving the tasks is the scoring model. Theoretical studies conducted by the authors allowed us to determine the main areas of application of scoring models; assessment of credit-worthiness, formation of assortment policy, sociological research, financial analysis. An attempt to apply the developed scoring models of financial analysis in real business conditions revealed the need for their development both in terms of the set of indicators used and in relation to the final assessment.

Elements of the scientific novelty of the research are the following: the classification of scoring models proposed by the authors, as well as the methodology for analyzing the income and expenses of an organization based on an expanded scoring model. They allow

* E-mail: nemkinap@mail.ru (P. Nemkina)

соотношениях. С целью применения новых подходов к оценке доходов предложены рекомендации по совершенствованию их методического обеспечения: скоринговые модели оценки качества доходов, которые в отличие от уже имеющихся предусматривают параллельное исследование и сопоставление динамики доходов и расходов.

not only to assess the quality of income and expenses, but also to determine the directions of development of management decisions to improve their quality.

ВВЕДЕНИЕ

Значение доходов и расходов в экономике современной организации трудно переоценить, так как эти показатели являются важнейшими в системе оценки результативности и деловых качеств организации, степени ее надежности и финансового благополучия. Цель любой организации заключается в превышении доходов над своими расходами. Чем крупнее становится компания, тем сложнее оперативно контролировать бизнес-процессы и принимать управленческие решения. Более того – чем быстрее развивается организация, тем острее проявляются эти проблемы. Становится труднее в оперативном режиме анализировать доходы и расходы в компании. В связи с этим требуется развивать методики анализа доходов и расходов с целью получения объективной информации для принятия управленческих решений в области управления финансовыми результатами бизнеса.

В экономическом анализе деятельности коммерческой организации доходы и расходы оцениваются в большинстве случаев как факторы, формирующие прибыли или убытки по отдельным видам деятельности: текущей, инвестиционной, финансовой. Анализируется динамика и структура доходов и расходов организации в целом, а также динамика и структура доходов и расходов по отдельным видам деятельности. Общепризнанными показателями эффективности отдельных видов деятельности при этом считаются показатели рентабельности, рассчитываемые как отношение прибыли, полученной от определенного вида деятельности к его расходам.

Развитие методик анализа доходов и расходов организации идет в направлении оценки качества полученных доходов и произведенных

расходов. Многие исследователи склоняются к тому, что в этой оценке первостепенную роль должны сыграть различные цепочки динамических нормативов. Например, темпы роста доходов по текущей деятельности должны опережать темпы роста доходов по инвестиционной деятельности, а последние должны опережать темпы роста доходов по финансовой деятельности. Несомненное первенство в этой цепочке доходов по текущей деятельности обосновано тем, что именно ради осуществления этой деятельности создавался бизнес, а все остальные доходы в финансовой отчетности носят название прочих.

На основе структурных и динамических показателей в большинстве случаев строятся скоринговые модели финансового анализа. Однако, по мнению авторов, при построении скоринговых моделей финансового анализа целесообразно рассматривать доходы по отдельным видам деятельности в неразрывной связи с соответствующими расходами, в том числе анализировать коэффициенты опережения темпов роста доходов над темпами роста расходов. Это определяет актуальность выбранной темы исследования.

В рамках решения данной проблемы предлагается методика анализа доходов и расходов организации, основанная на использовании скоринговой модели доходов и расходов.

Скоринговые модели в социально-экономических исследованиях

Появление в социальных и экономических исследованиях термина скоринг неразрывно связано с построением скоринговых моделей. Английское по происхождению слово *scoring* в буквальном переводе означает подсчет очков в игре, счет. Отсюда идет толкование скоринга как модели классификации организаций на различные группы, так как разделение на группы проис-

ходит путем подсчёта баллов (очков). Скоринг предполагает следующее условие применения: неизвестна характеристика, которая разделяет эти группы, но известны другие факторы, связанные с интересующей нас характеристикой [1].

С другой стороны, авторы отмечают, что скоринг представляет собой математическую или статистическую модель, с помощью которой на основе накопленных данных и экспертных заключений можно определить, насколько велика вероятность того, что конкретное юридическое или физическое лицо может осуществить какие-либо действия [1]. Под действиями в данном случае подразумевается потеря кредитоспособности экономического субъекта или его экономическая (финансовая) несостоятельность.

Скоринговые модели получают все большее распространение в экономических исследованиях, охватывают различные стороны не только экономических, но и социальных явлений. Изучение литературных источников по теме исследования позволило предложить следующую схему классификации скоринга по признаку «сфера применения» (рисунок 1).

Следовательно, скоринг в зависимости от сферы применения можно разделить на: кредитный, продуктовый, социальный и финансовый.

Кредитный скоринг встречается в литературных источниках чаще всего и, в соответствии со своим названием, применяется в сфере кредитования коммерческими банками. Кредитный

скоринг предполагает классификацию или разделение на группы потенциальных заемщиков коммерческого банка на основе информации о степени их кредитоспособности [2, с. 174]. Разделение на группы происходит на основании показателей, которые в значительной мере дифференцируются в зависимости от целого ряда факторов: типа заемщика (юридические или физические лица), вида кредита (целевого назначения) и др. По мнению исследователей, «это обусловлено существенным различием статистических моделей тех данных, которые представляются заемщиками в различных случаях. Например, для юридических лиц данные включают показатели, рассчитанные на основе балансовых отчетов (балансовые коэффициенты), отчета о прибылях и убытках, кредитной заявке, информации об истории клиента и его менеджерах, для физических лиц – это, в основном, анкетные данные. Очевидно, математические модели данных в том и другом случае могут существенно различаться» [2, с. 174–175].

Исследованиями в области кредитного скоринга занимались такие экономисты, как: Гичан О. С. [3, с. 247], Маслова Е. А. [4, с. 99], Братковский Е. В. [5, с. 102], Сорокин А. С. [6, с. 111] и другие. В исследованиях кредитного скоринга авторы отмечают не только сильные стороны, то есть преимущества скоринговых моделей, но и указывают недостатки. К числу важнейших из них относят: необходимость наличия достаточно

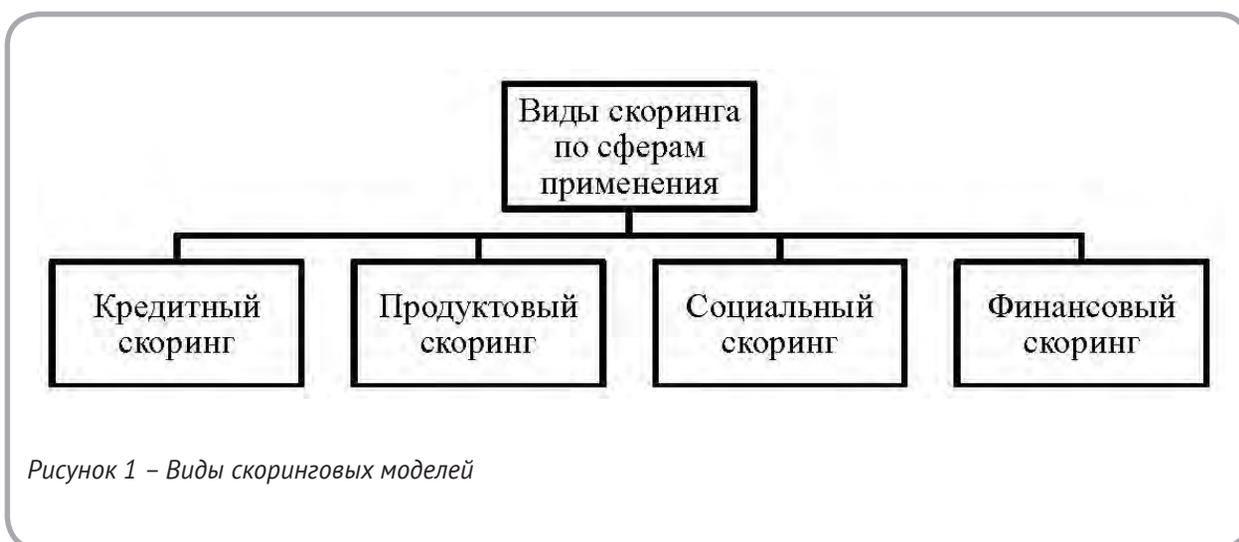


Рисунок 1 – Виды скоринговых моделей

Источник: составлено авторами.

большого количества данных о поведении клиентов и отсутствие четкой логики в информации, т.е. в знаниях, представленных в виде скоринговых моделей [7, с. 48].

Продуктовый скоринг является одним из инструментов, который используют при разработке и запуске продукта для определения состава продуктового портфеля компании [8].

Примером продуктового скоринга может послужить RICE Scoring или модель пиритизации, которая, по нашему мнению, визуально может быть представлена следующей схемой (рисунок 2).

В данной модели используются 4 параметра при выборе решения о продукте и его функциях [9]:

1. Reach – охват: сколько пользователей получают удовлетворение от характеристики продукта, либо заметят эту характеристику, либо будут ей пользоваться.

2. Impact – влияние: насколько эта функция на самом деле нам нужна, насколько она нам поможет, насколько функция «крутая».

3. Confidence – уверенность (уверенность в наших оценках и прогнозе влияния).

4. Effort – трудоемкость.

Не менее интересным является решение задач с использованием теории вероятности на основе применения оптимистической, реалистичной и пессимистической оценки и построения

гауссианы вероятности [9]. В качестве главной проблемы продуктовых скоринговых моделей авторы отмечают риски экспертной оценки, основанной на собственном опыте, интуиции и выводах, которая не учитывает специфику текущей ситуации, продукта [8].

Социальный скоринг расширяет сферу применения скоринговых моделей, выводит ее за рамки только экономических показателей. «Скоринговые модели в социологических исследованиях представляют класс прогнозных моделей, предсказывающих группу, к которой будет относиться респондент, и вероятность отнесения» [10, с. 17].

В данном виде моделей авторы также отмечают ряд проблем [10, с. 42]: излишние данные, которые требуют их укрупнения; корреляция переменных и связанная с ними задача выбора наиболее весомых переменных; пропущенные или некорректные ответы респондентов.

Финансовый скоринг нашел свое применение, прежде всего, в оценке финансового положения или финансовой состоятельности экономических субъектов. Так, например, можно выделить скоринговую модель Донцовой – Никифоровой. Экономисты Донцова Л.В. и Никифорова Н.А. предлагают скоринговую модель оценки платежеспособности предприятия, которая позволяет отнести предприятие к одному из шести классов платежеспособности, на основании оценки ше-

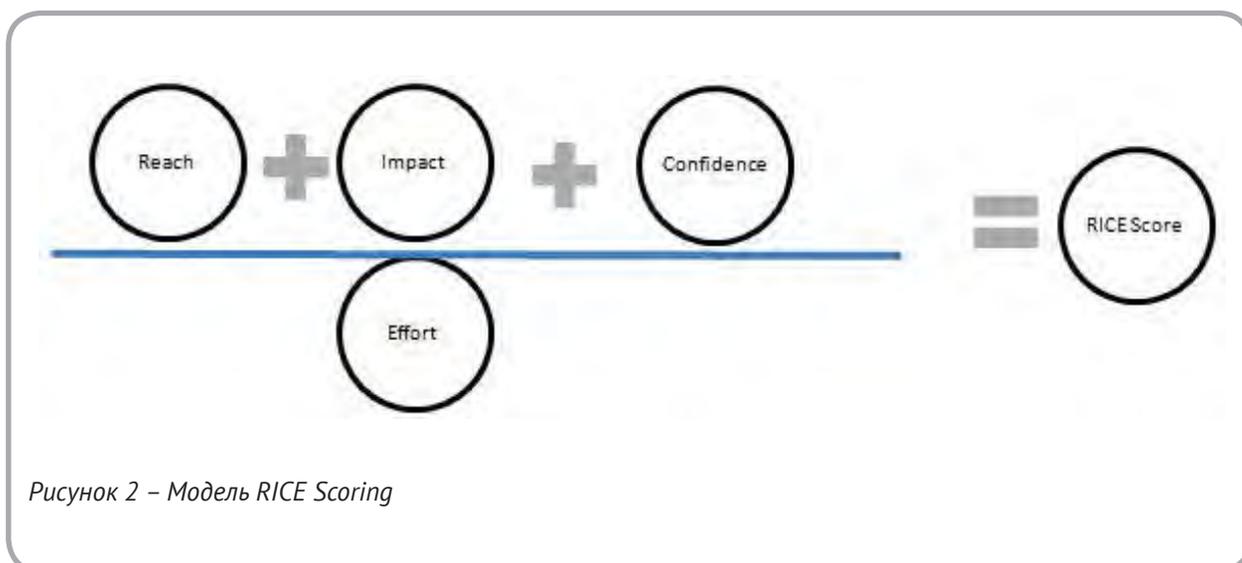


Рисунок 2 – Модель RICE Scoring

Источник: составлено авторами.

сти финансовых коэффициентов [1]:

- коэффициента абсолютной ликвидности,
- коэффициента быстрой ликвидности,
- коэффициента текущей ликвидности,
- коэффициента финансовой независимости,
- коэффициента обеспеченности собственными оборотными средствами,
- коэффициента обеспеченности запасов.

В зависимости от достигнутого значения коэффициентов устанавливается их балльная оценка, которая суммируется по шести показателям, и по полученной сумме баллов принимается один из выводов:

- предприятие имеет хороший запас финансовой прочности;
- предприятие имеет незначительную вероятность погашения долгов, в целом риск есть;
- проблемное предприятие;
- предприятие имеет высокий риск банкротства;
- предприятие имеет очень высокий риск банкротства, меры по оздоровлению, скорее всего, не помогут;
- предприятие финансово несостоятельно.

В данной модели, на наш взгляд, реализуется основное преимущество финансового анализа – доступность информации, так как все показатели определяются по данным бухгалтерского баланса. Но это преимущество одновременно может рассматриваться и как слабая сторона, которая определяется как статичность данных и, следовательно, статичность выводов.

Нельзя не согласиться с мнением начальника Департамента кредитования бизнеса «РРБ-Банка» Игоря Бичеля относительно оценки финансового состояния предприятий малого бизнеса, который отмечает, что коэффициенты показывают только часть картины, и наиболее адекватную картину динамических тенденций развития возможно получить только на основе управленческой отчетности. К тому же подход наиболее неэффективен для оценки микро- и малых предприятий, так как они большей частью представлены индивидуальными предпринимателями и частными предприятиями, которые освобождены от ведения бухгалтерского учета [11, с. 312].

Развитие скоринговых моделей касается не только перехода от статике к динамике пока-

зателей, но и связано с расширением объектов анализа.

Так, например, авторами П. Г. Пономаренко и Е. П. Пономаренко предложена скоринговая модель для оценки качества доходов организаций [12, с. 309]. Оценка качества доходов в предложенной модели строится на ключевом показателе – выручка от реализации продукции и использовании в модели следующих ее характеристик: удельный вес выручки от реализации продукции в доходах организации, темп ее роста и коэффициент вариации.

В зависимости от набранной суммы баллов организация может быть отнесена к одной из четырех групп:

- 1 группа – организации, имеющие хорошую способность зарабатывать и стабильно получающие доходы;
- 2 группа – организации, имеющие незначительный риск потери доходов;
- 3 группа – организации, имеющие проблемы с получением доходов;
- 4 группа – организации с высоким риском потери доходов.

На наш взгляд, в структурных показателях, характеризующих доходы организации, должна быть более развернутая характеристика, так как необходима характеристика структуры доходов по видам деятельности. Достаточно дискуссионными являются и установленные границы при присвоении балльной оценки, например, у организаций 1 группы только 60 % доходов составляет выручка от реализации продукции.

Наличие в оценке качества доходов коэффициента вариации выручки от реализации, по нашему мнению, приемлемо для тех производств и тех организаций, которые не подвержены сезонным колебаниям спроса на продукцию.

В связи с этим попытка применить уже предложенную ранее авторами [12] модель оценки качества доходов на практике привела к необходимости ее модификации (таблица 1).

Апробация разработанной скоринговой модели производилась в условиях ООО «ФОРТЕКС-ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ», в результате которой организация была отнесена в третью группу в 2018 и 2019 годах и во вторую группу в 2020 году (таблица 2).

Таблица 1 – Скоринговая модель оценки качества доходов (модифицированная модель П.Г. Пономаренко и Е.П. Пономаренко)

Показатели	Границы групп согласно критериям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %	90 % и выше	60–89 %	40–59 %	Менее 40 %
Темп роста доходов по текущей деятельности, %	120 % и выше	100–119 %	50–99 %	Менее 50 %
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %	90 % и выше	60–89 %	40–59 %	Менее 40 %
Темп роста выручки, %	120 % и выше	100–119 %	50 до 99 %	Менее 50 %

Источник: составлено авторами.

Таблица 2 – Анализ качества доходов ООО «ФОРТЕКС-ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» на основе модифицированной модели

Показатели	Границы групп согласно критериям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
2018 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				
2019 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				
2020 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				

Источник: составлено авторами.

Данные таблицы 2 указывают на наиболее важную причину невысокой оценки качества доходов организации – невысокий удельный вес выручки от реализации в доходах по текущей деятельности. Более глубокий анализ состава и структуры доходов организации от прочей текущей деятельности позволил установить причину сложившейся ситуации – большая часть доходов и расходов по прочей текущей деятельности в СООО «ФОРТЕКС-ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» представлена доходами и расходами по покупке и продаже валюты. По предложению менеджеров организации была составлена условная скоринговая модель, в которой исключены указанные доходы и расходы (таблица 3).

Учитывая весомость показателей, а также достаточно высокие значения показателей тем-

пов роста, организация может быть отнесена в первую группу, т.е. имеет хорошую способность зарабатывать и стабильно получать доходы. Несовпадение полученных результатов в таблицах 2 и 3 характеризует высокую степень влияния на качество доходов экспортных операций, сопровождающихся покупкой и продажей валюты. Для данной организации, характеризующейся высоким уровнем экспортоориентированности, это сыграло важную роль в оценке качества полученных доходов.

Разработка скоринговой модели оценки качества доходов и расходов

На наш взгляд, данные модели в достаточной степени выполняют назначенные им функции, оценивая платежеспособность и степень риска потери дохода. Однако для более полного

Таблица 3 – Анализ качества доходов СООО «ФОРТЕКС-ВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ» на основе разработанной модели (за исключением операций по покупке-продаже валюты)

Показатели	Границы групп согласно критериям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
2018 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				
2019 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода, %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				
2020 год				
Удельный вес доходов по текущей деятельности в общей сумме дохода %				
Темп роста доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес выручки в доходах по текущей деятельности, %				
Темп роста выручки, %				

Источник: составлено авторами.

понимания состояний доходов и расходов организации требуется более широкая выборка показателей. Более того, актуальным является сопоставление динамики доходов и расходов организации. Для менеджмента организации в данном случае не столько важна итоговая комплексная оценка, сколько выявление «узких» мест в структуре и динамике доходов и расходов. В исследовании предпринята попытка разработки скоринговой модели для оценки качества доходов и расходов организации. Приведем результаты первого этапа разработки: определение показателей и установление их границ (таблица 4).

Данная модель была апробирована в организации, занимающейся передачей, распределением и реализацией электроэнергии (таблица 5).

В результате проведенного исследования сформулированы основные достижения и проблемы. К положительным характеристикам качества доходов, полученных исследуемой организацией, могут быть отнесены следующие:

- опережающий темп роста доходов по текущей деятельности по сравнению с темпом роста расходов по этой деятельности;
- сложившиеся правильные пропорции в соотношении темпов роста доходов по отдельным видам деятельности.

Таблица 4 – Скоринговая модель оценки доходов и расходов организации

Показатели	Границы групп согласно критериям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	90 и выше	от 90 до 70	от 70 до 50	менее 50
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %	140 и выше	от 140 до 120	от 120 до 100	менее 100
Удельный вес расходов по текущей деятельности, %	90 и выше	от 90 до 70	от 70 до 50	менее 50
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	100 и менее	от 100 до 80	от 80 до 60	менее 60
Удельный вес прочих доходов, %	10 и менее	от 10 до 30	от 30 до 50	более 50
Темп роста прочих доходов, %	менее 60	от 60 до 80	от 80 до 100	более 100
Удельный вес прочих расходов, %	10 и менее	от 10 до 30	от 30 до 50	более 50
Темп роста прочих расходов, %	менее 60	от 60 до 80	от 80 до 100	более 100
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэфф.	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэфф.	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэфф.	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5

Источник: составлено авторами.

Таблица 5 – Оценка доходов и расходов филиала «Климовичские электрические сети» РУП «Могилевэнерго»

Показатели	Границы групп согласно критериям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %				
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес расходов по текущей деятельности, %				
Темп роста расходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес прочих доходов, %				
Темп роста прочих доходов, %				
Удельный вес прочих расходов, %				
Темп роста прочих расходов, %				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, <i>коэфф.</i>				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, <i>коэфф.</i>				
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, <i>коэфф.</i>				

Источник: составлено авторами.

Вместе с тем по структурным показателям просматриваются явные диспропорции между удельным весом доходов по текущей деятельности и удельным весом расходов по текущей деятельности. На этот факт оказывает влияние специфика функционирования организации в качестве филиала. Улучшение ситуации требует разработки первоочередных мероприятий именно по увеличению доходов и снижению расходов по текущей деятельности.

ВЫВОДЫ

Исследование проблем применения скоринговых моделей в экономической теории и практике указывает на эффективность данного методического инструментария в финансовом анализе в общем и в оценке качества доходов и расходов коммерческой организации в частности.

Развитие методических аспектов применения скоринговых моделей для реальных условий бизнеса в данной работе осуществлялось в направлении формирования системы показателей для оценки качества доходов и расходов экономического субъекта. Обосновано привлечение в единую систему не только показателей структуры и динамики доходов, но и соответствующих им расходов, а также коэффициентов, характеризующих соотношение доходов по отдельным видам деятельности между собой.

Результаты проведенного исследования на этапе структурно-динамического анализа доходов с применением рекомендуемой методики позволили оценить уровень рискованности управленческой деятельности по организации и осуществлению текущей, инвестиционной и финансовой деятельности субъекта хозяйствования, а также сделать вывод о качестве полученных доходов.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23–24 ноября

2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Скоринговые модели*, режим доступа: https://revolution.allbest.ru/management/00685972_0.html (дата обращения: 04.10.2022).
2. Гринь, Н. В. (2012), Методологические аспекты построения скоринговых моделей, *Экономика, моделирование, прогнозирование*, № 6, С. 174–180.
3. Гичан, О. С. (2019), Кредитный скоринг как инструмент автоматизированной оценки кредитоспособности заемщиков, *Тенденции экономического развития в XXI веке: мат. Межд. науч. конф. (28 февраля 2019 г., г. Минск)*, С. 243–248.
4. Маслова, Л. А. (2018), Кредитный скоринг. Методы построения скоринговых моделей, *Математическое и компьютерное моделирование в экономике, страховании и управлении рисками*, № 3, С. 98–104.
5. Братковский, Е. В., Хмельева, А. В. (2022), Модели и алгоритмы кредитного скорингана основе нейросетевых технологий, *58-я Научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР*, С. 101–103.
6. Сорокин, А. С. (2014), Построение скоринговых карт с использованием модели логистической регрессии, *Вестник евразийской науки*, № 2 (21), С. 88–117.
7. Крутов, Р. А. (2021), Преимущества и недостатки кредитного скоринга как метода оценки кредитоспособности потенциального заемщика, *Тенденции развития науки и образования*,

REFERENCES

1. *Skoringovyye modeli* [Scoring models], available at: https://revolution.allbest.ru/management/00685972_0.html (accessed: 04.10.2022).
2. Grin, N. V. (2012), Methodological aspects of building scoring models [Metodologicheskiye aspekty postroyeniya skoringovykh modeley], *Ekonomika, modelirovanie, prognozirovanie – Economics, modeling, forecasting*, № 6, pp. 174–180.
3. Gichan, O. S. (2019), Credit scoring as a tool for automated assessment of borrowers' credit-worthiness [Kreditnyy skoring kak instrument avtomatizirovannoy otsenki kreditosposobnosti zayemshchikov], *Trends in economic development in the 21st century: Mat. Int. scientific conf. (February 28, 2019, Minsk)*, pp. 243–248.
4. Maslova, L. A. (2018), Credit scoring. Methods for constructing scoring models [Kreditnyy skoring. Metody postroyeniya skoringovykh modeley], *Mathematical and computer modeling in economics, insurance and risk management*, № 3, pp. 98–104.
5. Bratkovsky, E. V., Khmeleva, A. V. (2022), Models and algorithms of credit scoring based on neural network technologies [Modeli i algoritmy kreditnogo skoringana osnove neyrosetevykh tekhnologiy], *58th Scientific Conference of Postgraduates, Undergraduates and Students of BSUIR*, pp. 101–103.
6. Sorokin, A. S. (2014), Building scorecards using a logistic regression model [Postroyeniye skoringovykh kart s ispol'zovaniyem modeli logisticheskoy regressii], *Vestnik evrazijskoj nauki – Vestnik of Eurasian Science*, № 2 (21), pp.

№ 70-3, С. 45–49.

8. *Что такое скоринг и как он помогает организовывать задачи при разработке продукта*, режим доступа: <https://probusiness.io>. (дата обращения: 27.09.2022).
9. *Техники скоринга и приоритизации бэклогов*, режим доступа: <https://csmmagazine.ru>. (дата обращения: 05.11.2022).
10. Бык, И. С. (2015), Применение скоринговых моделей в социологических исследованиях, *Труды 6-й Международной научно-практической конференции студентов и аспирантов «Статистические методы анализа экономики и общества» (12–15 мая 2015 г.)*, С. 62.
11. Бичель, И. С. (2019), Подходы к оценке кредитоспособности предприятий малого бизнеса, *Тенденции экономического развития в XXI веке: мат. Межд. науч. конференция*, С. 311–314.
12. Пономаренко, П. Г., Пономаренко, Е. П. (2015), Использование скоринговых моделей для оценки доходов, *Совершенствования учета, анализа и контроля как механизмов информационного обеспечения устойчивого развития экономики: Материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Новополец, 4–5 июня 2015 г.*, С. 307–310.
7. Krutov, R. A. (2021), Advantages and disadvantages of credit scoring as a method for assessing the creditworthiness of a potential borrower [Preimushchestva i nedostatki kreditnogo skoringa kak metoda otsenki kreditosposobnosti potentsial'nogo zayemshchika], *Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya – Trends in the development of science and education*, № 70-3, pp. 45–49.
8. *Что такое скоринг и как он помогает организовывать задачи при разработке продукта* [What is scoring and how it helps to organize tasks in product development], available at: <https://probusiness.io>. (accessed: 09.27.2022).
9. *Техники скоринга и приоритизации бэклогов* [Techniques for scoring and prioritizing backlogs], available at: <https://csmmagazine.ru>. (accessed: 05.11.2022).
10. Byk, I. S. (2015), The use of scoring models in sociological research [Primeneniye skoringovykh modeley v sotsiologicheskikh issledovaniyakh], *Proceedings of the 6th International Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates "Statistical Methods for Analyzing the Economy and Society" (May 12–15, 2015)*, p. 62.
11. Bichel, I. S. (2019), Approaches to assessing the creditworthiness of small businesses [Podkhody k otsenke kreditosposobnosti predpriyatiy malogo biznesa], *Trends in economic development in the 21st century: Mat. Int. Scientific Conference*, pp. 311–314.
12. Ponomarenko, P. G., Ponomarenko, E. P. (2015), The use of scoring models for assessing income [Ispol'zovaniye skoringovykh modeley dlya otsenki dokhodov], *Improving accounting, analysis and control as mechanisms for information support for sustainable economic development: Proceedings of the II Intern. scientific-practical. Conf., Novopolotsk, June 4–5, 2015*, pp. 307–310.

Статья поступила в редакцию 04. 10. 2022 г.

КОНЦЕПЦИЯ КЛАСТЕРНЫХ ЦЕПЕЙ ПОСТАВОК КАК ИНСТРУМЕНТ ФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

CLUSTER SUPPLY CHAIN CONCEPT AS A TOOL OF REGIONAL LOGISTICS SYSTEM DEVELOPMENT

УДК 332.146.2

М.А. Слонимская*, Е.С. Веретенникова

*Полоцкий государственный университет
имени Ефросинии Полоцкой*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-169-180>

M. Slonimska*, A. Veratsennikava

*Euphrosyne Polotskaya State University
of Polotsk*

РЕФЕРАТ

ЦЕПЬ ПОСТАВОК, УПРАВЛЕНИЕ ЦЕПЯМИ ПОСТАВОК, КЛАСТЕР, КЛАСТЕРНАЯ ЦЕПЬ ПОСТАВОК, РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА

В условиях высоких геополитических рисков и растущей уязвимости глобальных цепей поставок растет актуальность совершенствования инструментов и методов управления региональными цепями поставок, что неразрывно связано с формированием региональной логистической системы. Сетевое сотрудничество региональных стейкхолдеров, которое формируется в результате кластерной политики государства, является одним из условий успешной реализации такого проекта, о чем свидетельствует появление концепции кластерных цепей поставок.

Целью данного исследования является обоснование направлений формирования региональной логистической системы в регионах Республики Беларусь на основе совместного использования инструментов управления цепями поставок и кластерной политики государства, что позволит принимать обоснованные решения в сфере проектирования логистической инфраструктуры, регионализации и обеспечения устойчивости региональных цепей поставок. Для достижения данной цели решались следующие задачи: исследование сущности концепции интегрированных цепей поставок и ее связи с кластерной теорией экономического развития; обоснование возможности использования концепции кластерной цепи поставок в качестве интегрирующего и

ABSTRACT

SUPPLY CHAIN, SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, CLUSTER, CLUSTER SUPPLY CHAIN, REGIONAL DEVELOPMENT, DIGITAL PLATFORM

The relevance of the research is determined by the need to search for tools for regional logistics system development as one of the instruments to increase the regional supply chains resilience in the face of geopolitical risks. In linking supply chain management concept and cluster theory of economic development, this article focuses on cluster supply chain as a special kind of enterprise network with double feature of cluster and supply chain and its role in the formation of integrated supply chains. The proposition that competitive advantages of industrial clusters facilitate effective supply chain management was confirmed in the course of the study. The effectiveness of the cluster supply chain business model in terms of increasing the sustainability of regional supply chains and achieving the goals of sustainable regional development has been proven on the example of the European Supply Chain Resilience Platform operation. The authors propose to use inter-cluster interaction platforms as an integrating and coordinating mechanism for planning, organizing and managing regional logistics flows, which is necessary for the regional logistics system formation.

* E-mail: m.slonimskaya@psu.by (M. Slonimska)

координирующего инструмента планирования, организации и управления региональными логистическими потоками; разработка рекомендаций по использованию бизнес-модели кластерной цепи поставок в процессе формирования региональной логистической системы.

Теоретической и методологической основой исследования явились научные труды отечественных и зарубежных ученых в области управления цепями поставок, кластерной концепции экономического развития и региональной логистики. Методическую базу исследования определили общенаучные методы познания, методы сравнительного анализа, статистические ме-

тоды исследования, принципы и методы системного подхода, общенаучные методы познания, методы сравнительного анализа, исторический метод, принципы и методы системного подхода.

Проведенный анализ позволил разработать рекомендации по использованию бизнес-модели кластерных цепей поставок на базе электронной платформы межкластерного взаимодействия в качестве интегрирующего и координирующего инструмента планирования, организации и управления региональными логистическими потоками, необходимого для формирования региональной логистической системы.

ВВЕДЕНИЕ

В качестве одной из объективных предпосылок развития теории управления цепями поставок в начале 90-х годов XX века часто указывается тенденция трансформации локальных цепей поставок в глобальные, обеспечивающая доступ к новым рынкам сбыта и новым источникам поставок. Критерием выбора стратегии оффшорного аутсорсинга или закупки товаров и услуг за рубежом, как правило, является предполагаемый рост конкурентоспособности конечного продукта или услуги по цене. Импорт из Китая в США вырос примерно с 45 миллиардов долларов в год в 1995 году до более чем 280 миллиардов долларов в год в 2006 году [1, с. 2]. Формирование глобальных цепей поставок при этом значительно затрудняет возможность контроля поставщиков и увеличивает время выполнения заказа. Проблема устойчивости глобальных цепей поставок решается за счет внедрения современных методов и инструментов принятия решений на основе специальных информационных технологий.

Начиная с конца 2019 года из-за противоэпидемиологических ограничений, связанных с распространением COVID-19, проблема устойчивости глобальных цепей поставок стала одной из наиболее актуальных в мировой экономике. Данная проблема еще более обострилась в начале 2022 года из-за разрыва многих традиционных цепей поставок по геополитическим причинам. В ответ на растущую уязвимость

глобальных цепей поставок национальные правительства стимулируют компании переносить производство в свою страну или географически близкие регионы с целью минимизации рисков.

В данных условиях растет важность разработки инструментов и методов региональной логистики, позволяющих принимать обоснованные решения относительно формирования региональных цепей поставок с учетом экономической целесообразности и интересов регионального сообщества. Региональная логистика объединяет логистикоориентированные методы исследования региона как территории: региональную экономику в аспекте анализа и планирования движения потоков; планирование и проектирование логистической инфраструктуры региона [2, с. 43]. Одной из основных и наиболее сложных задач данного научного направления является формирование региональной логистической системы, под которой понимается совокупность субъектов логистической деятельности, взаимодействующих через интегрирующий и координирующий механизм планирования, организации и управления региональными логистическими потоками с целью их оптимизации. Региональная логистическая система характеризуется структурным составом и связями, устанавливающими согласованное функционирование элементов логистической системы, соответствующей ее цели. Основной проблемой при этом является вовлечение участников экономической деятельности во взаимовыгодное партнерство.

Как показывает зарубежный опыт, одним из инструментов формирования региональных логистических систем является кластерная политика. В Беларуси достаточное внимание уделяется кластеризации экономики – разработана концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров, предусмотрены задания по созданию кластеров рядом государственных программ [3]. Целью исследования, результаты которого представлены в данной статье, является обоснование направлений формирования региональной логистической системы в регионах Республики Беларусь на основе совместного использования инструментов управления цепями поставок (Supply chain management – SCM) и кластерной политики государства, что позволит принимать обоснованные решения в сфере проектирования логистической инфраструктуры, регионализации и обеспечения устойчивости региональных цепей поставок. Цель предопределила решение следующих задач:

- провести анализ сущности концепции интегрированных цепей поставок и ее связи с кластерной теорией экономического развития;
- обосновать возможность использования концепции кластерной цепи поставок в качестве интегрирующего и координирующего инструмента планирования, организации и управления региональными логистическими потоками;
- разработать рекомендации по использованию бизнес-модели кластерной цепи поставок в процессе формирования региональной логистической системы.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для целей исследования использовались общенаучные методы познания, методы сравнительного анализа, исторический метод, принципы и методы системного подхода.

1. Сущность концепции интегрированных цепей поставок и ее связь с кластерной теорией экономического развития

Концепция управления цепями поставок (Supply chain management – SCM) появилась и начала активно развиваться в начале 80-х годов XX века в ответ на глобализацию рынков, обострение конкуренции в сфере логистической деятельности и, соответственно, усложнение задачи удовлетворения растущих требований кли-

ентов к уровню их обслуживания. Воплощение идей, заложенных в данную концепцию, стало возможным в значительной степени благодаря появлению новых информационных технологий и цифровизации экономики. Основные факторы формирования концепции SCM представлены на рисунке 1.

SCM предполагает системную интеграцию отдельных логистических функций участников цепей поставок, при которой партнёры в режиме реального времени обмениваются информацией о текущем состоянии дел с генерацией спроса, выполнением планов производства и отгрузок, уровнем запасов и принимают быстрые совместные решения в случае отклонения текущих процессов от плановых [5]. Это достигается за счёт использования единой информационной платформы, обеспечивающей доступ к данным о спросе и поставках по множеству звеньев цепи поставок.

Впервые понятие «интегрированная цепь поставок» было использовано в 1982 году К. Оливером и Р. Вебером. Под данным термином они понимали: «...единое целое, позволяющее заменить разрозненную ответственность за деятельность в различных сегментах цепи поставок выделением таких интегрированных функциональных областей, как закупки, производство, распределение и продажа» [6, с. 2]. Концепция цепочки создания ценности, которая была предложена в 1985 году Майклом Портером [7], внесла существенный вклад в дальнейшее развитие концепции SCM.

Интеграция цепей поставок предполагает добровольное сотрудничество юридически независимых партнеров на основе доверия, в том числе в сфере инноваций. Аналогичные условия необходимы для эффективного функционирования кластеров. Таким образом, можно предположить, что промышленный кластер – это наиболее благоприятная среда для внедрения концепции SCM. Одной из целей формирования промышленного кластера, так же, как и интегрированной цепи поставок, является повышение эффективности материальных, информационных и финансовых потоков между его участниками.

Кластерная теория экономического развития была предложена Майклом Портером и начала развиваться в 90-е годы XX века. Основные по-

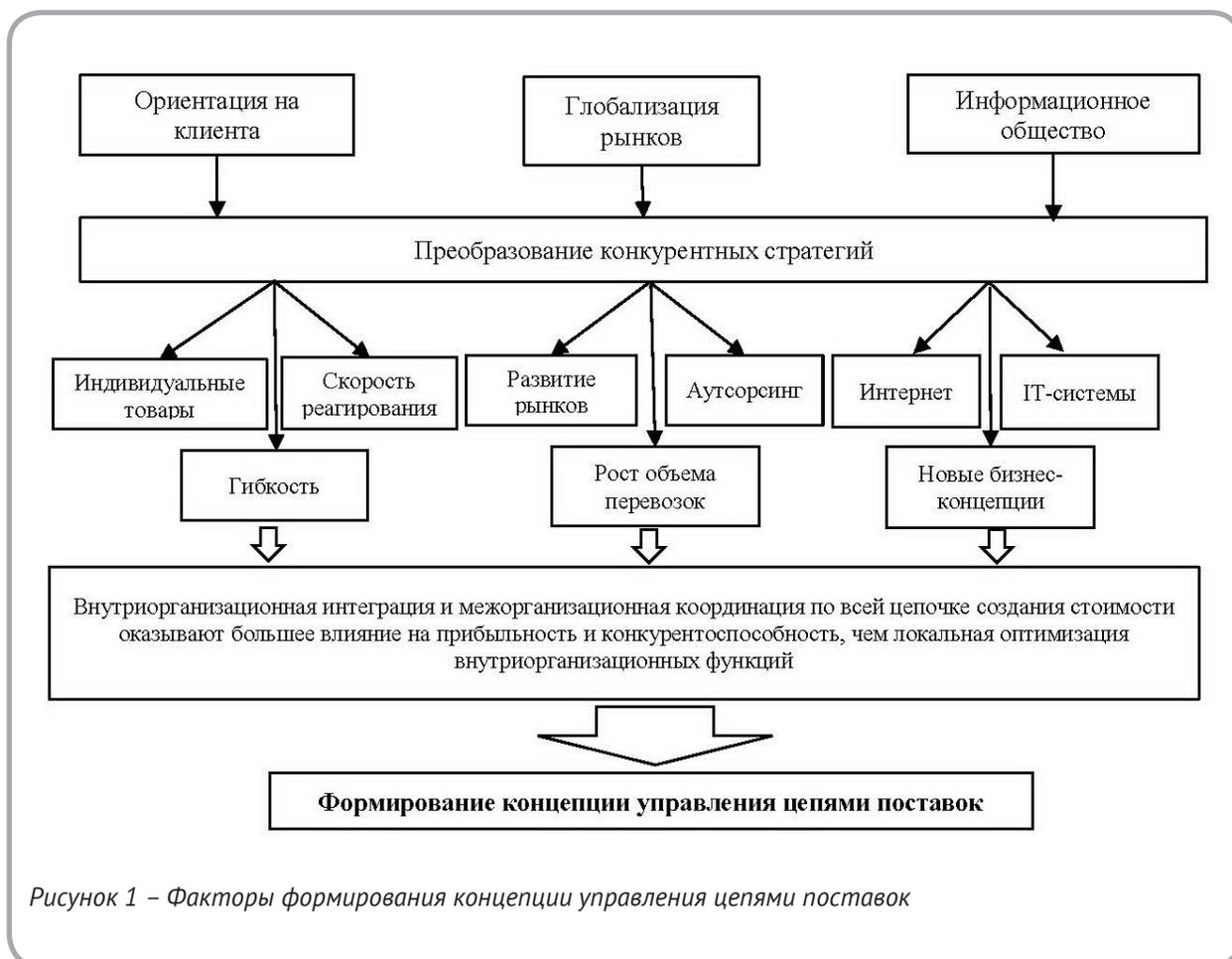


Рисунок 1 – Факторы формирования концепции управления цепями поставок

Источник: [4, с. 5].

ложения данной теории он изложил в работах «Конкурентное преимущество наций» (1990 г.) и «Конкуренция» (1998 г.). М. Портер показал механизм формирования конкурентного преимущества для компании, когда она расположена в непосредственной близости с другими компаниями из той же отрасли. Повторяющиеся взаимодействия между такими компаниями, по его мнению, усиливают конкуренцию, повышают производительность, стимулируют инновационную деятельность и способствуют укреплению доверия. Согласно определению М. Портера, «кластеры – это концентрированные по географическому признаку группы взаимосвязанных компаний, специализированных поставщиков, поставщиков услуг, фирм в родственных отраслях, а также связанных с их деятельностью организаций (например, университетов, агентств по стандартизации, торговых объединений), в

определенных областях, конкурирующих, но при этом ведущих совместную работу» [8, с. 258].

Следует отметить, что существует ряд других теорий, объясняющих экономический эффект от сотрудничества и взаимодействия предприятий одной или смежных отраслей, сконцентрированных по географическому признаку, которые предшествовали разработке кластерной теории экономического развития М. Портера, или развивались параллельно, однако данная теория стала наиболее популярной в мировой экономической практике, а кластерная политика стала одним из ключевых инструментов роста конкурентоспособности отраслей и регионов в мировой экономике.

Майкл Энрайт в своих исследованиях обосновал, что формирование конкурентных преимуществ от применения кластеров происходит на региональном, а не на национальном или

наднациональном уровнях [9]. По его мнению, именно региональные кластеры являются объектами проведения кластерной политики и нуждаются во внимании со стороны государственных структур и поддержке исследовательских организаций.

Стюард Розенфельд развил теорию региональных кластеров, определив важную роль каналов связи между участниками кластерных организаций. В соответствии с его определением, региональный кластер – это «географически ограниченная концентрация взаимозависимых предприятий с активными каналами для деловых операций, диалога и коммуникаций, которые в совокупности разделяют общие возможности и угрозы» [10, с. 10]. Таким образом, можно заметить связь между кластерной концепцией и SCM, которая может иметь важное значение в повышении конкурентоспособности предприятий кластера и региональном развитии.

Аллан Кэрри одним из первых обратил внимание на преимущество совместного развития концепций кластерного развития и SCM. В своей статье «От интегрированных предприятий к региональным кластерам: меняющаяся основа конкуренции», он предложил шире использовать информационные технологии для обмена информацией между участниками региональных кластеров с целью повышения экономической эффективности операций в цепях поставок [11].

Энтони Патти показал источники повышения устойчивости и экономической эффективности цепей поставок, сформированных в рамках кластерных образований на географически ограниченном пространстве: 1) местные поставщики могут значительно сократить время и затраты на транспортировку; 2) снижаются риски, связанные с транспортировкой товаров, и повышается надежность их поставки в установленный срок; 3) сокращение сроков выполнения заказов и вариации длительности цикла поставки позволяет компаниям значительно сократить размеры запасов материальных ресурсов без увеличения риска их дефицита [12, с. 267].

По результатам исследования цепи поставок швейной отрасли промышленности в странах Азии Гэри Герреффи сделал вывод о том, что с развитием промышленных кластеров неизбежно их расширение от неосновных звеньев с низ-

кой добавленной стоимостью к стратегическим звеньям с более высокой добавленной стоимостью по всей цепочке создания стоимости, то есть формированию полной или почти полной цепочки создания стоимости в локальном отраслевом кластере, что повышает актуальность внедрения SCM [13, с. 259].

Нетсанет Джоте и другие отметили два важных фактора, указывающих на целесообразность применения концепции SCM для координации цепей поставок в рамках промышленных кластеров: 1) SCM поддерживает промышленный кластер путем интеграции процессов и построения долгосрочных отношений между фирмами кластера, участвующими в потоке товаров и услуг от источника до конечных потребителей, а фирмы в цепи поставок получают конкурентное преимущество за счет снижения затрат, повышения ценности и удовлетворенности клиентов; 2) промышленный кластер поддерживает цепь поставок за счет участия в его деятельности академических институтов, государственных учреждений, ассоциаций и поставщиков сопутствующих услуг, способствуя разработке и внедрению инноваций, а также распространению знаний в цепи поставок [14].

Том ДеВитт, Ларри Джуниперо и Гораций Мелтон в своих исследованиях продемонстрировали связь между теорией кластеров М. Портера и SCM и доказали их потенциальное совместное положительное влияние на конкурентоспособность и эффективность фирмы (рисунок 2).

На стыке концепции SCM и кластерной теории экономического развития сформировалась концепция кластерных цепей поставок (Cluster Supply Chain – CSC), которая, как отмечают Бицин Хуан и Сяо Сюэ, фокусируется на развитии кластера по цепочке создания стоимости и конкуренции/сотрудничестве с различными цепями поставок [16, с. 259]. Для описания данного феномена ряд авторов также используют термин «кластер цепей поставок» (Supply Chain Cluster – SCC) [17, 18]. В перспективе, по мнению Мигеля Седильо-Кампоса, развитие информационных технологий в сфере управления цепями поставок должно обеспечить системную интеграцию операций, выполняемых в компании, глобальных цепях поставок и местных промышленных кластерах [19, с. 5].



Источник: [15, с. 295].

2. Бизнес-модель кластерной цепи поставок и европейская электронная платформа устойчивости цепей поставок

Технически бизнес-модель CSC строится на основе платформы государственных услуг, которая обеспечивает поддержание делового сотрудничества между местными предприятиями, помогая им преодолеть различные барьеры, такие как финансовые сложности, доступ к необходимой технической помощи и информации, получить преимущества интегрированной цепи поставок, а также создать региональную экономическую экосистему. Однако эффективность такой платформы в значительной степени будет зависеть от сложившихся традиций, культуры, доверительных отношений, которые формируются в рамках кластеров. CSC, по определению Бинхуа Хэ, представляет из себя сложную сеть, включающую таких участников, как предприятия цепи поставок, правительственные агентства, академические институты, различные виды посредников, предоставляющих профессиональные и консалтинговые услуги, а также финансовые организации (рисунок 3).

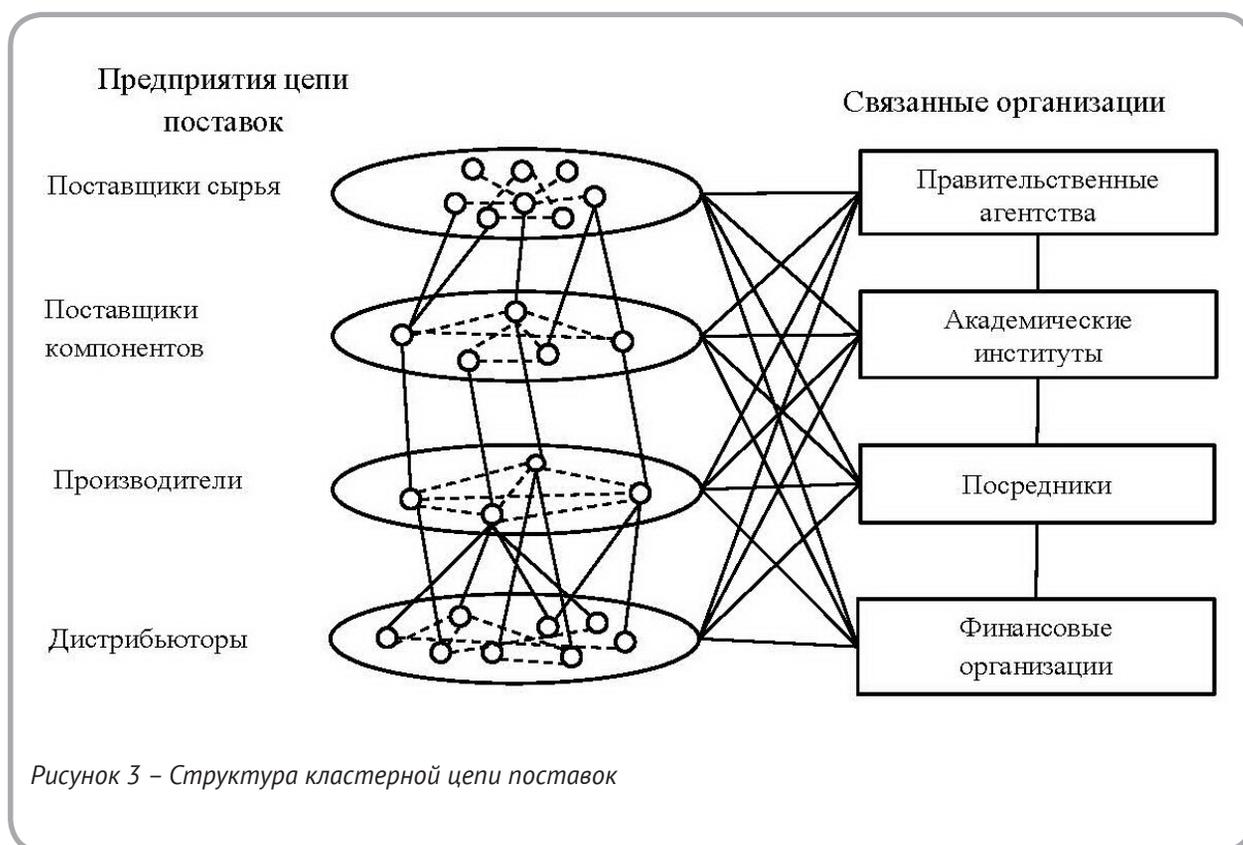
Б. Хуан и С. Сюэ выделяют три основные условия реализации преимуществ бизнес-модели CSC:

1) географическая концентрация. Непосредственная физическая близость рассматривает-

ся как решающий фактор эффективности CSC, обеспечивающий возможности ее координации, формирования доверия между участниками и совместной разработки инноваций. Кроме того, находясь в непосредственной близости, производители могут лучше изучить потребности клиентов, более гибко их удовлетворять, разрабатывать новые продукты с меньшими затратами на проведение экспериментов;

2) сетевое сотрудничество. В CSC большинство субъектов (организаций или частных лиц) прямо или косвенно вовлечены в одну или смежные отрасли экономической деятельности. Существует не только вертикальное сотрудничество между предприятиями в рамках одной цепи поставок, но и горизонтальная координация между однородными предприятиями в разных цепях поставок. Таким образом, каждый член CSC может получить экономический эффект в виде снижения цены при совместных закупках, увеличения объема заказов за счет совместного использования производственных мощностей без потери гибкости. Сотрудничество предприятий может способствовать построению полной цепочки создания стоимости, повышая конкурентоспособность всего кластера;

3) сервис-ориентированная модель. Участие в CSC обеспечивает доступ к информации и специализированным услугам без дополнительных



Источник: [20, с. 753].

затрат ресурсов на их поиск и установление контактов [16].

Примером реализации идеи CSC, по нашему мнению, является европейская электронная платформа устойчивости цепей поставок (The Supply Chain Resilience Platform – SCRP), которая была создана в 2022 году на базе платформы «Европейская сеть предприятий» при участии Европейской платформы кластерного сотрудничества и поддержке Европейской комиссии и агентства EISMEA [21]. SCRP помогает предприятиям сохранять или изменять структуру существующих цепей поставок, находить поставщиков материалов, сырья, деталей, компонентов, полуфабрикатов или услуг, необходимых им для поддержания производства. На платформе осуществляется размещение публичных предложений по поставке сырья, деталей, комплектующих, полуфабрикатов, товаров и услуг, а также подбор партнеров и установление необходимых контактов по запросам европейских компаний. В целом SCRP выполняет три основные функции: интеллектуальную; связующую и поддерживаю-

щую, как представлено на рисунке 4.

Таким образом, SCRP, с одной стороны, обеспечивает сбор необходимой информации о потенциальных новых партнерах по цепи поставок, помогая ее участникам быстро найти необходимых поставщиков в случае возникновения непредвиденных ситуаций. С другой стороны, она также способствует формированию региональной логистической системы, повышая эффективность деятельности по разработке и реализации стратегии устойчивого регионального развития.

Сбор и предоставление необходимой информации является одним из распространенных видов услуг, оказываемых кластерными организациями ЕС своим членам. Информация о потенциальных поставщиках и рынках сбыта может предоставляться в виде: 1) комплексной информационной панели, отображающей информацию о производстве и отгрузке участников цепей поставок; 2) инструмента моделирования сценариев поставки при различной структуре цепей поставок; 3) интерактивной онлайн-платформы для обмена знаниями о конкретных по-



Рисунок 4 – Функции электронной платформы устойчивости цепей поставок

Источник: авторская разработка на основе [22, с. 9].

ставщиках, транспортных маршрутах в разрезе видов транспорта, факторах риска на определенную дату. Подобная информация позволяет принимать более обоснованные решения относительно конфигурации цепей поставок с целью снижения рисков.

Европейские кластерные организации имеют возможность помочь своим членам при необходимости восстановления разрывов в цепях поставок, поиске поставщиков в своем или ближайших регионах, формировании закупок из множества источников благодаря установленным связям между государствами-членами ЕС через Европейский альянс кластеров или Европейскую платформу сотрудничества кластеров. Такая помощь особенно важна для предприятий малого и среднего бизнеса.

Выбор альтернативных местных поставщиков может способствовать снижению рисков в цепи поставок, однако часто требуются дополнительные меры для того, чтобы вывести новых поставщиков на необходимый уровень качества товаров и услуг. Европейские кластерные организации осуществляют поддержку своих

членов посредством разработки специальных программ развития поставщиков, повышения их профессионализма, внедрения процедур оценки и сертификации.

Кластерные организации ЕС играют важную роль в разработке и реализации региональных стратегий устойчивого развития, стимулируя участников цепей поставок отдавать предпочтение местным экологичным поставкам, переориентировать бизнес на циклическое производство, вписываться в контекст зеленой экономики [23]. Организация межкластерного взаимодействия в странах ЕС позволила обеспечить устойчивость ряда региональных цепей поставок в условиях пандемии COVID-19, переориентировав их конечную продукцию на решение проблем здравоохранения [22].

Таким образом, бизнес-модель CSC на основе электронной платформы межкластерного взаимодействия может выполнять роль интегрирующего и координирующего инструмента планирования, организации и управления региональными логистическими потоками, необходимого для формирования региональной ло-

гистической системы.

ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие выводы:

- существует тесная связь между концепцией SCM и кластерной теорией экономического развития, такие характеристики кластера, как географическая близость участников, наличие ключевых компетенций и установление доверительных взаимоотношений между участниками способствуют внедрению практики SCM;

- на стыке концепции SCM и кластерной теории экономического развития сформировалась концепция CSC, которая фокусируется на развитии кластера по цепочке создания стоимости и конкуренции/сотрудничестве с различными цепями поставок. Бизнес-модель CSC строится на основе платформы государственных услуг, которая обеспечивает поддержание делового сотрудничества между местными предприятиями, помогая им преодолеть различные барьеры, такие как финансовые сложности, доступ к необходимой технической помощи и информации, получить преимущества интегрированной цепи поставок, а также создать региональную эконо-

мическую экосистему;

- эффективность бизнес-модели CSC с точки зрения повышения устойчивости региональных цепей поставок и достижения целей устойчивого регионального развития доказывает опыт функционирования европейской электронной платформы SCR, которая была создана на базе платформы «Европейская сеть предприятий» при участии Европейской платформы кластерного сотрудничества и поддержке Европейской комиссии и агентства EISMEA;

- рекомендуется использовать бизнес-модель CSC на основе специально созданных региональных и национальной электронных платформ межкластерного взаимодействия как направление развития кластерной политики в Республике Беларусь, ориентируясь в качестве примера, с точки зрения выполняемых функций, на модель европейской электронной платформы SCR. Платформы межкластерного взаимодействия в Республике Беларусь могут выполнять роль интегрирующего и координирующего инструмента планирования, организации и управления региональными логистическими потоками, необходимого для формирования региональной логистической системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Vidrova, Z. (2020), Supply chain management in the aspect of globalization, *SHS Web of Conferences*, 2020, № 74, available at: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2020/02/shsconf_glob2020_04031/shsconf_glob2020_04031.html.
2. Носов, А. Л. (2015), Инновации в развитии региональной логистической инфраструктуры, *Инновационное развитие экономики*, 2015, № 1 (25), С. 42–47.
3. Яшева, Г. А., Вайлунова, Ю. Г. (2022), Планирование и управление кластерным проектом в контексте турбулентности внешней среды: методический подход, *Вестник Полоцкого го-*

REFERENCES

1. Vidrova, Z. (2020), Supply chain management in the aspect of globalization, *SHS Web of Conferences*, 2020, № 74, available at: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/abs/2020/02/shsconf_glob2020_04031/shsconf_glob2020_04031.html.
2. Nosov, A. L. (2015), Innovations in the development of regional logistics infrastructure [Innovacii v razvitii regional'noj logisticheskoy infrastruktury], *Innovacionnoe razvitie ekonomiki – Innovative development of the economy*, 2015, № 1 (25), pp. 42–47.
3. Yasheva, G. A., Vajlunova, Yu. G. (2022), Planning and managing a cluster project in the context

- сударственного университета. Серия D, 2022, № 6, С. 68–74.
4. Ivanov, D., Sokolov, B. V. (2010), *Evolution of supply chain management*, available at: https://www.researchgate.net/publication/315517971_Evolution_of_Supply_Chain_Management_SCM.
 5. Ермолина, М. В. (2013), Интегрированное исполнение как завершающий этап интегрированного планирования в цепи поставок, *Интернет-журнал «Логистика и управление цепями поставок»*, 2013, № 6 (59), available at: <http://lscm.ru/index.php/ru/publicly/item/526-интегрированное-исполнение-как-завершающий-этап-интегрированного-планирования-в-цепи-поставок>.
 6. Gerhard, F. K., Knolmayer, G. F., Mertens, P., Zeier, A. (2002), *Supply Chain Management Based on SAP Systems: Order Management in Manufacturing Companies*, Berlin, Springer, 244 p.
 7. Porter, M. E. (1985), *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, The Free Press, 557 p.
 8. Портер, М. (2005), *Конкуренция*, Москва, Вильямс, 608 с.
 9. Enright, M. J. (2003), *Innovation clusters and interregional competition*, Berlin, Springer, pp. 99–129.
 10. Rosenfeld, S. A. (1997), Bringing business clusters into the mainstream of economic development, *European Planning Studies*, 1997, Vol. 5, No 1, pp. 3-23.
 11. Carrie, A. S. (2000), From integrated enterprises to regional clusters: the changing basis of competition, *Computers in Industry*, 2000, № 42 (2000), pp. 289–298.
 12. Patti, A. L. (2006). Economic clusters and the supply chain: a case study, *Supply Chain Management: An International Journal*, 2006, Vol. 11, No 1, pp. 3–12.
4. Ivanov, D., Sokolov, B.V. (2010), *Evolution of supply chain management*, available at: https://www.researchgate.net/publication/315517971_Evolution_of_Supply_Chain_Management_SCM.
 5. Ermolina, M. V. (2013), Integrated execution as the final stage of integrated planning in the supply chain [Integrirovannoe ispolnenie kak zavershayushchij etap integrirovannogo planirovaniya v cpey postavok], *Internet journal «Logistics and supply chain management»*, № 6 (59), available at: <http://lscm.ru/index.php/ru/publicly/item/526-интегрированное-исполнение-как-завершающий-этап-интегрированного-планирования-в-цепи-поставок>.
 6. Gerhard, F. K., Knolmayer, G. F., Mertens, P., Zeier, A. (2002), *Supply Chain Management Based on SAP Systems: Order Management in Manufacturing Companies*, Berlin, Springer, 244 p.
 7. Porter, M. E. (1985), *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*, New York, The Free Press, 557 p.
 8. Porter, M. (2005), *Konkurenciya* [Competition], Moscow, Williams, 608 p.
 9. Enright, M. J. (2003), *Innovation clusters and interregional competition*, Berlin, Springer, pp. 99–129.
 10. Rosenfeld, S. A. (1997), Bringing business clusters into the mainstream of economic development, *European Planning Studies*, 1997, Vol. 5, No 1, pp. 3-23.
 11. Carrie, A. S. (2000), From integrated enterprises to regional clusters: the changing basis of

- 11, Iss. 3, pp. 266–270.
13. Gereffi, G. (1999), International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain, *Journal of International Economics*, 1999, № 48, pp. 37–70.
14. Jote, N., Beshah, B., Kitaw, D., Mangano, G., De Marco, A. (2013), A Review on the Integration of Supply Chain Management and Industrial Cluster, *International Journal of Marketing Studies*, 2013, Vol. 5, № 6, pp. 164–174.
15. DeWitt, T., Giunipero, L. C., Melton, H. L. (2006), Clusters and supply chain management: the Amish experience, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2006, Vol. 36, Iss. 4, pp. 289–308.
16. Huang, B., Xue, X. (2012), An application analysis of cluster supply chain: a case study of JCH, *Kybernetes*, 2012, Vol. 41, № 1/2, pp. 254–280.
17. McDowell, E., Pepper, M., Aneiros, A. M. (2022), Towards a theory of self-organizing supply chain clusters, *Systems Research and Behavioral Science*, 2022, pp. 1–13, available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.2838>.
18. Ji, G., Gunasekaran, A. (2014), Evolution of innovation and its strategies: From ecological niche models of supply chain clusters, *The Journal of the Operational Research Society*, № 65(6), pp. 888–903.
19. Cedillo-Campos, M. G. (2014), Supply chain clustering: The next logistics frontier?, *Conference Paper. International Congress on Logistics & Supply Chain (CiLOG2014)*, 2014, available at: https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Cedillo-Campos/publication/271503432_Supply_chain_clustering_The_next_logistics_frontier/links/54c900730cf213e7f73549e5/Supply-chain-clustering-The-next-logistics-frontier.pdf.
- competition, *Computers in Industry*, 2000, № 42 (2000), pp. 289–298.
12. Patti, A. L. (2006), Economic clusters and the supply chain: a case study, *Supply Chain Management: An International Journal*, 2006, Vol. 11, Iss. 3, pp. 266–270.
13. Gereffi, G. (1999), International trade and industrial upgrading in the apparel commodity chain, *Journal of International Economics*, 1999, № 48, pp. 37–70.
14. Jote, N., Beshah, B., Kitaw, D., Mangano, G., De Marco, A. (2013), A Review on the Integration of Supply Chain Management and Industrial Cluster, *International Journal of Marketing Studies*, 2013, Vol. 5, № 6, pp. 164–174.
15. DeWitt, T., Giunipero, L. C., Melton, H. L. (2006), Clusters and supply chain management: the Amish experience, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2006, Vol. 36, Iss. 4, pp. 289–308.
16. Huang, B., Xue, X. (2012), An application analysis of cluster supply chain: a case study of JCH, *Kybernetes*, 2012, Vol. 41, № 1/2, pp. 254–280.
17. McDowell, E., Pepper, M., Aneiros, A. M. (2022), Towards a theory of self-organizing supply chain clusters, *Systems Research and Behavioral Science*, 2022, pp. 1–13, available at: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/sres.2838>.
18. Ji, G., Gunasekaran, A. (2014), Evolution of innovation and its strategies: From ecological niche models of supply chain clusters, *The Journal of the Operational Research Society*, № 65(6), pp. 888–903.
19. Cedillo-Campos, M. G. (2014), Supply chain clustering: The next logistics frontier?, *Conference Paper. International Congress on Logistics & Supply Chain (CiLOG2014)*, 2014, available at: https://www.researchgate.net/profile/Miguel-Cedillo-Campos/publication/271503432_Supply_chain_clustering_The_next_logistics_frontier/links/54c900730cf213e7f73549e5/Supply-chain-clustering-The-next-logistics-frontier.pdf.

20. He, B. (2016), The Features and Evolution of Cluster Supply Chain Network, *Open Journal of Business and Management*, № 4, pp. 751–762.
21. The Supply Chain Resilient Platform, available at: <https://supply-chain-resilience-platform.b2match.io/>.
22. Kamp, B., Porsch, L., Wilson, J., Hausemer, P. (2020), Responding to COVID19: The role of clusters in supply chain adjustments, *European Cluster Collaboration Platform Discussion Paper 2*, Brussel, European Commission, 15 p.
23. Derlukiewicz, N., Mempel-Sniezyk, A., Mankowska, D., Dyjakon A., Minta S., Pilawka T. (2020), HowdoClustersFosterSustainableDevelopment? An Analysis of EU Policies, Sustainability, 2020, № 12, available at: https://www.researchgate.net/publication/339198587_How_do_Clusters_Foster_Sustainable_Development_An_Analysis_of_EU_Policies#:~:text=It%20was%20shown%20that%20the,into%20world%2Dclass%20value%20systems.
- Supply_chain_clustering_The_next_logistics_frontier/links/54c900730cf213e7f73549e5/Supply-chain-clustering-The-next-logistics-frontier.pdf.
20. He, B. (2016), The Features and Evolution of Cluster Supply Chain Network, *Open Journal of Business and Management*, № 4, pp. 751–762.
21. The Supply Chain Resilient Platform, available at: <https://supply-chain-resilience-platform.b2match.io/>.
22. Kamp, B., Porsch, L., Wilson, J., Hausemer, P. (2020, Responding to COVID19: The role of clusters in supply chain adjustments, *European Cluster Collaboration Platform Discussion Paper 2*, Brussel, European Commission, 15 p.
23. Derlukiewicz, N., Mempel-Sniezyk, A., Mankowska, D., Dyjakon A., Minta S., Pilawka T. (2020), HowdoClustersFosterSustainableDevelopment? An Analysis of EU Policies, Sustainability, 2020, № 12, available at: https://www.researchgate.net/publication/339198587_How_do_Clusters_Foster_Sustainable_Development_An_Analysis_of_EU_Policies#:~:text=It%20was%20shown%20that%20the,into%20world%2Dclass%20value%20systems.

Статья поступила в редакцию 24. 10. 2022 г.

НЕОБХОДИМОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

THE NEED TO MODERNIZE AGRICULTURE IN THE REPUBLIC OF BELARUS IN THE CONDITIONS OF THE DIGITAL ECONOMY

УДК 33:004

О.П. Советникова*, А.В. Петрова

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-181-191>

O. Sovetnikova*, A. Petrova

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ, МОДЕРНИЗАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, АГРАРНАЯ ПОЛИТИКА, ПРОДУКЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА, СЕЛЬСКОЕ НАСЕЛЕНИЕ, НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ

Модернизация сельского хозяйства с применением новейших цифровых технологий является на сегодняшний день одним из ключевых мировых трендов. Авторами выявлено, что в условиях устойчивого развития цифровая трансформация экономики выступает одним из ключевых элементов построения технологичного информационного общества на основе происходящих социально-экономических процессов.

Цель исследования состоит в выявлении необходимости модернизации сельского хозяйства в условиях цифровой экономики, обеспечивающей повышение качества отраслевого управления. Для достижения цели решались следующие задачи: анализ основных программных документов, утвержденных на среднесрочную и долгосрочную перспективу и связанные с развитием сельского хозяйства в условиях цифровизации экономики; оценка основных показателей сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь; выявление основных проблем развития сельского хозяйства. Проведенный анализ позволил разработать основные направления развития сельского хозяйства в условиях цифровизации, которые могут быть использованы для приня-

ABSTRACT

SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT, MODERNIZATION OF AGRICULTURE, DIGITALIZATION, AGRICULTURAL POLICY, AGRICULTURAL PRODUCTS, RURAL POPULATION, DEVELOPMENT DIRECTIONS

Modernization of agriculture with the use of the latest digital technologies is one of the key global trends today. The authors found that in the context of sustainable development, the digital transformation of the economy is one of the key elements in building a technological information society based on ongoing social-and-economic processes.

The purpose of the study is to identify the need for the modernization of agriculture in the digital economy, which improves the quality of sectoral management. To achieve the goal, the following tasks were solved: analysis of the main policy documents approved for the medium and long term and related to the development of agriculture in the context of the digitalization of the economy; assessment of the main indicators of the agricultural sector of the Republic of Belarus; identification of the main problems of agricultural development. The analysis made it possible to develop the main directions for the development of agriculture in the context of digitalization, which can be used to make managerial decisions by republican and regional government bodies in the formation and implementation of regional and state programs for the development of the agro-industrial complex.

* E-mail: sovetnikova@bk.ru (O. Sovetnikova)

тия управленческих решений республиканскими и региональными органами государственного управления при формировании и реализации региональной и государственной программ развития агропромышленного комплекса.

INTRODUCTION

Agriculture is the basis for the successful development of the state economy as a whole. In world practice, it is noted that the agricultural sector is focused on the widespread introduction of digital technologies for the development of precision farming, increasing crop yields, as well as reducing production costs and improving its quality, which is the main competitiveness priority for the efficient use of natural resources in certain climatic conditions. A new stage in the development of agriculture has begun, based on the widespread introduction of digital technologies.

The digital transformation of agriculture is largely based on the integrated implementation of a number of digital technologies within the interrelated concepts of precision farming and smart agriculture.

At the same time, the issues of digitalization in the agro-industrial sector, the introduction of innovative technologies in the production process and the effectiveness of their use have not been fully studied, which determined the relevance and choice of the research topic. Thus, the choice of the issues studied in the article is due to the fact that the modernization of agriculture using the latest digital technologies is one of the key global trends today. The task is to solve problems and increase the efficiency of the agricultural sector through digitalization to create competitive products.

The relevance of the research topic is confirmed by the fact that the aggravation of modern problems caused by the simultaneous impact of global crisis processes, disproportions between the sectors of the domestic economy and the upcoming digital transformation of most areas of activity, actualizes the search for effective solutions for the modernization of such a strategically important industry as agriculture. In recent years, the large-scale use of digital technologies has become

a sustainable direction for the development of agriculture around the world. At the same time, the elements of the modernization mechanism in the digital economy remain uncertain, its content is unidentified and contradictory, and only the set of factors that determine the objective need for modernization – ensuring the country's food security – remains constant.

In most recent studies in the field of agricultural modernization, attention was mainly focused on technical and technological modernization and updating the material base of production; and the problem of transition to the use of digital technologies remains isolated and fragmented which has determined the urgency of this problem.

Purpose and objectives of the study. The purpose of the research is to study the need to modernize agriculture in the digital economy, which improves the quality of sectoral management.

The goal set led to the solution of the following interrelated tasks:

- clarify and expand the conceptual aspects of the modernization of agriculture;
- substantiate the initial conditions and conceptual elements of the organizational model for the modernization of agriculture in the context of the transition to a digital economy;
- identify a set of effects from the digitalization of agriculture;
- to form directions for the development of agriculture in the digital economy.

A significant contribution to the research and development of the agro-industrial complex was made by such scientists as A. Altukhov, V. Belsky, G. Besplohotny, D. Buklagin, E. Kostyukova, A. Kiryakov, V. Maksimov, V. Nechaev, A. Petrikov, A. Serkov, E. Semenova, V. Osipova, V. Fedorenko, A. Fedorova and others.

The theoretical and methodological basis of the study is the research of domestic and foreign

scientists, statistical data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus, etc.

Belarus has taken track towards the introduction of information communication and advanced manufacturing technologies in all spheres of life. The target is to achieve the share of the digital economy in the country's GDP in the amount of at least 15 % in 2025. The digital transformation of the economy involves organization of digital information environment through the formation of a regulatory legal framework and the introduction of effective tools for managing the processes of digitalization of the economy.

The country plans to implement innovative projects in the field of digital development within the framework of state programs and sectoral plans. One of the main issues in the field of socio-economic development of the state is the digital transformation of agriculture. The undisputed driver of the agro-industrial complex of Belarus today is the processes in the field of digitalization.

Agriculture is a priority sector of the economy of the Republic of Belarus, ensuring food security and export potential. In the context of sustainable development, the digital transformation of the economy is one of the key elements in building a technological information society based on ongoing socio-economic processes [1]. The government policy of the Republic of Belarus is aimed at the introduction of information and advanced production technologies in all sectors of the national economy and spheres of life of society as a whole. Therefore, in the context of the accelerated transformation of the world economy, the emphasis is on studying the process of digitalization of all sectors that affect the development of economic progress and its opportunities to achieve the sustainable development goals in Belarus.

It should be noted that over the past year the Belarusian government has taken a significant number of measures at the national level aimed at supporting and innovative development of the country. Thus, in accordance with Decree of the President of the Republic of Belarus № 156 of May 7, 2020 "On priority areas of scientific, scientific-and-technical and innovative activities for 2021–2025", the first priority area of scientific, scientific-and-technical and innovative

activities for 2021–2025 digital information and communication and interdisciplinary technologies, production based on them, including the development of information and control systems, artificial intelligence and robotics [2].

To achieve this goal, the State Program "Digital Development of Belarus" is being implemented until 2025. One of the ongoing activities of the Program provides for the development and implementation of the digital platform of the Ministry of Industry and the implementation of the Industry 4.0 concept. The State Program provides for the level of "digital maturity" of the Republic of Belarus, both on an industry and regional scale, as well as applied technical solutions, global trends, which is the basis for further digital transformations.

The agrarian policy of the Belarusian government is an integral part of the government's socio-economic policy aimed at the sustainable development of agriculture and rural areas. Improving the efficiency of agriculture is the main criterion for the development of the industry, defined by the "National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the period up to 2030". For 2021–2030, the priority of the development strategy is the creation of a profitable agribusiness, the basis of which is large-scale production [3].

During the period of implementation of the State Program for the Development of Agricultural Business in the Republic of Belarus for 2016–2020, the food security of the country has been fully ensured. Gross agricultural output growth amounted to 12.2 % in 2015–2020 compared to 2015, including crop production (18.4 %), and livestock (6.9 %) (Figure 1).

For 2016–2020 the country's agricultural and food exports increased from \$4.2 billion to \$5.8 billion. The balance of foreign trade activity during this period has a positive value. The growth of foreign trade turnover over the past five years was largely ensured by increasing export deliveries (by 24.3 %), while the increase in import purchases was only 4.7 %. As of 01/01/2021, the geography of export deliveries has been expanded to 116 countries of the world. According to the results of the Program, the task for the production (growing) of poultry at the level of 3.4 million tons (109.7 %),



Figure 1 – Agricultural products in farms of all categories in the Republic of Belarus (in comparable prices; as a percentage of 2010)

Source: compiled by the author based on [4].

vegetables – 9.2 million tons (114.5 %), fruits and berries – 3.5 million tons (143.1 %). The volume of milk production for the task amounted to 90.4 %, cattle – 90.7 %, pigs – 93.9 %, grain – 80.3, rapeseed – 67.1, sugar beet – 94.6 %, flax fiber – 78.9 %, potatoes – 99.8 %.

It is especially important to note that if such projects are being actively implemented in the country, this indicates a favorable business climate and effective state support. New horizons are opening up as part of the modernization of agriculture: these projects help ensure food stability, reduce import dependence in the livestock and crop industries, in the processing segment, as well as increase the attractiveness of work in the countryside, attract personnel, young professionals, pay good wages, build housing, develop social infrastructure in agricultural towns and villages.

The government scientific and technical programs “Digital Technologies and Robotic Complexes” and “Intelligent Instrumentation” for 2021–2025 are also being carried out, according to which information technologies are being developed and implemented in the industry. For example, in the field of precision farming, monitoring of agro-industrial equipment,

engineering cooperation systems based on digital interaction and non-drawing technologies. In addition, under the State Program of Innovative Development of Belarus for 2021–2025, it is planned to implement a number of projects in the field of robotization and digitalization. The regional potential is the most important resource and functional basis for identifying promising projects of the digital economy [5].

In the economy of Belarus, innovative development is the most important vector and engine of modernization processes in agriculture. Agriculture closely interacts with other sectors of the economy and is a source of replenishment of the national income for solving the most important tasks of the country.

Thus, in 2021, the gross domestic product amounted to 173.2 billion rubles and grew by 2.3 % over the year. Agricultural production amounted to 25 billion rubles, or 95.8 % of the 2020 level. Agriculture is an important sector of the Belarusian economy, providing 6.8 % of the country's GDP, 19.8 % of exports, 11.7% of investments in fixed assets in 2020, and almost 10.5 % in 2021. At the same time, about 8 % of the total number of people employed in the country's economy work in this sector.

The allocation of agrarian policy as a relatively independent area in the general economic policy of the Republic of Belarus is due to the peculiarities of agricultural production, the specifics of the regulation of agrarian relations. In agricultural policy, much attention should be paid to achieving higher final results of production activities, both in agriculture and in all agribusiness, ensuring stable production growth rates, increasing its efficiency and social development of the village.

Based on the results of a study conducted by analyzing the key economic indicators and the current conditions for the use of digital innovations in Belarusian agricultural practice, it can be concluded that the lag behind regions and countries with a developed agro-industrial complex is due to the long-term lack of mutually beneficial conditions for investment and the low the level of provision with labor resources (potential) and the latest advanced technologies, as clearly evidenced by the statistical indicators of development (Table 1).

According to the data, over the past 5 years, there has been an outflow of the rural population in the whole country, and as of January 1, 2022, the number was 2,023,429 people. However, there is an upward trend in investments in investments in the agricultural sector, which led to an increase in 2017–2021 1.5 times. Investments in fixed capital amounted to 30.1 billion rubles in the country in 2021. To implement the large-scale tasks of digitalization, an important task is the training of human resources as a necessary condition for

supporting digital development processes.

The volume and dynamics of the share of the rural population in the Republic of Belarus for 2017–2021 are shown in Figure 2.

According to the data presented, there is a decrease in the proportion of the rural population in the country as a whole. This is due to the lack of employment in rural areas, the migration of the rural population to cities. First of all, for the development of agriculture in the Republic of Belarus, it is necessary to redistribute labor resources, increase the level of specialized education and attract highly qualified young scientists and specialists in this field to develop and implement innovative products and services.

At the same time, a number of key problems remain in the agro-industrial complex, the most important of which are the following:

- the level of profitability of agricultural production does not allow for expanded reproduction of food even with government's support (2020 – 6.1 %, and without it (1.4 %);
- lack of own financial resources necessary for the timely implementation of current activities and renewal of fixed assets on a qualitatively new basis;
- growth of accounts payable and debt on credits and loans of agricultural organizations;
- low level of wages of agricultural workers, which does not allow to use the proper motivational mechanism in the agrarian economy and ensure the retention of personnel, especially young specialists;

Table 1 – Key indicators of the agricultural industry in Belarus for 2017–2021

Index	2017	2018	2019	2020	2021
Population – total people	9,448,312	9,429,257	9,410,259	9,349,645	9,255,524
Including the rural population, people	2,164,033	2,137,548	2,106,354	2,069,325	2,023,429
Share of rural population, %	22.9	22.7	22.4	22.1	21.9
Investments in fixed assets – total, million rubles	21033.7	25004.4	28798.9	29633.4	30126.8
Including agriculture, million rubles	2178.5	2453.3	3030.4	3468.3	3120.3
Specific weight, %	10.4	9.8	10.5	11.7	10.4

Source: compiled by the author based on [6].

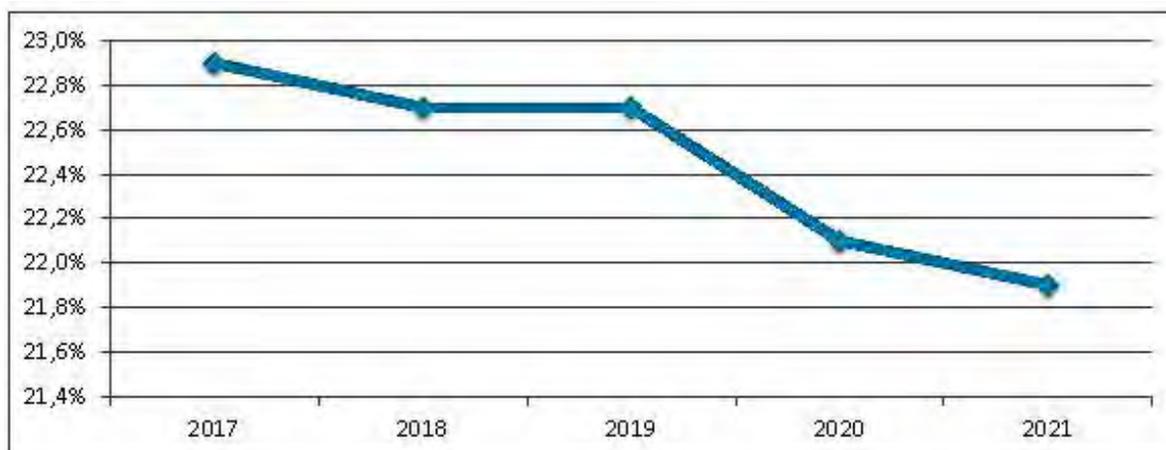


Figure 2 – The volume and dynamics of the share of the rural population of the Republic of Belarus for 2017–2021

Source: compiled by the author based on [6].

– slow rates of social development of rural areas and the reduction of the rural population caused by them, which is the reason for the deterioration of the socio-demographic situation;

– in the regions of the country there is a shortage of personnel in the most popular specialties (for example, veterinarian profile). The retention of young specialists is an urgent problem of the industry, without which further dynamic development of agriculture is impossible.

In the context of digital transformation, the problems of agricultural development have gained wide interest from representatives of various branches of economic science and public services. Therefore, the analysis of problems related to the implementation and role of innovations for the development of agriculture is a priority for Belarus at the current stage.

The digital transformation of the agricultural sector inevitably faces a labor factor: insufficient professional and scientific awareness of smart technologies and their capabilities, for example, makes it difficult to attract highly qualified specialists to the area under study, which is a necessary condition for the sustainable development of the state. Human capital is the main factor in the innovative modernization of the economy of the agro-industrial complex, which

implies the creation of favorable conditions for innovation and innovators.

Statistical indicators on employment in agriculture are presented in Table 2.

The study showed that the employment of the population in the agricultural area is low: there is a low percentage of highly qualified young professionals with higher specialized education under the age of 30. The total number of workers in the agricultural industry with higher education is 11.6 %, which indicates a low level of development of the study area.

First of all, for the development of agriculture in the Republic of Belarus, it is necessary to redistribute labor resources, increase the level of specialized education and attract highly qualified young scientists and specialists in this field to develop and implement innovative products and services. In the life of a modern high-tech society, specialized quality education occupies one of the most important places, since it is a key source of generation, improvement and development of human capital, and, consequently, a resource for the socio-economic development of the country.

It is obvious that the lagging behind the regions and countries with developed agro-industrial sector is due to the long-term lack of conditions for investment and the low level of labor resources

Table 2 – The number of employees of agricultural organizations by level of education and age groups for 2014–2020

Index	2014	2016	2018	2019	2020
List number of employees, people, including those with education	338,600	314,855	292,245	280,273	272,924
higher, (specific weight) %:	9.2	10.0	11.0	11.2	11.6
secondaryspecial and vocational	41.3	42.5	42.5	43.2	43.6
general average and general basic	49.5	47.5	46.5	45.6	44.8
List number of employees by age (specific weight), %:					
16–24 years old	7.4	7.1	6.2	5.8	5.9
25–39 years old	31.8	31.8	30.6	29.8	29.0
40–59 years old	56.2	56.4	56.7	56.7	56.4
over 60 years old	4.6	4.7	6.5	7.7	8.7

Source: compiled by the author based on [6].

and advanced technologies that has been formed at the current time, as it is shown by the statistical indicators of the development of this industry.

A comparative analysis of employees of agricultural organizations by level of education and age groups is shown in Figure 3.

Thus, it is necessary to conclude that various innovative transformations should be led by specialists who, in a complex, understand how to transform current resources into the latest digital services and how to successfully integrate them into the processes of the agricultural sector.

Analysis of the issues related to the introduction and role of innovations for the development of agriculture is a priority for Belarus at the current stage. Among the problems of the development of agriculture in Belarus in the context of the digitalization of the economy are:

- lack of specialized government programs and projects aimed at supporting the agro-industrial complex in the acquisition and implementation of bio- and nanotechnological products and services;
- lack of necessary management and regulation of the industry;
- lack of investment;
- lack of highly qualified personnel and young specialists;
- massive outflow of labor resources from rural areas to cities;
- reduction of arable land due to soil erosion;
- low material and technical base of subjects

of the agricultural sector;

- weak ties with scientific organizations [7].

It should be noted that the lag of the agricultural sector of Belarus in terms of the widespread use of digital technologies in agriculture from the world leaders is largely due to the presence of obvious socio-economic and institutional barriers.

Thus, in the industry as a whole, the share of specialists in the field of information and communication technologies is one of the lowest among all types of economic activity. An important problem in the development of digital technologies in agriculture is the sustainable digital division between urban and rural settlements.

In conditions of intense competition, one of the sources for the development of economic entities is the creation of vertically integrated structures. In Vitebsk region, the experience of creating integration structures in agriculture is successfully used. Support was provided by the government signing Decree № 70 of February 25, 2020 [8].

The digital transformation of agriculture makes it possible to achieve a number of economic and social effects: cost reduction, increased productivity, and rational environmental management, elimination of the digital division, food security, and efficient supply chains [9].

Thus, the most important goal of the agrarian policy of the Republic of Belarus is to ensure the dynamic development of all areas of the agro-industrial complex (resource supply, agriculture,

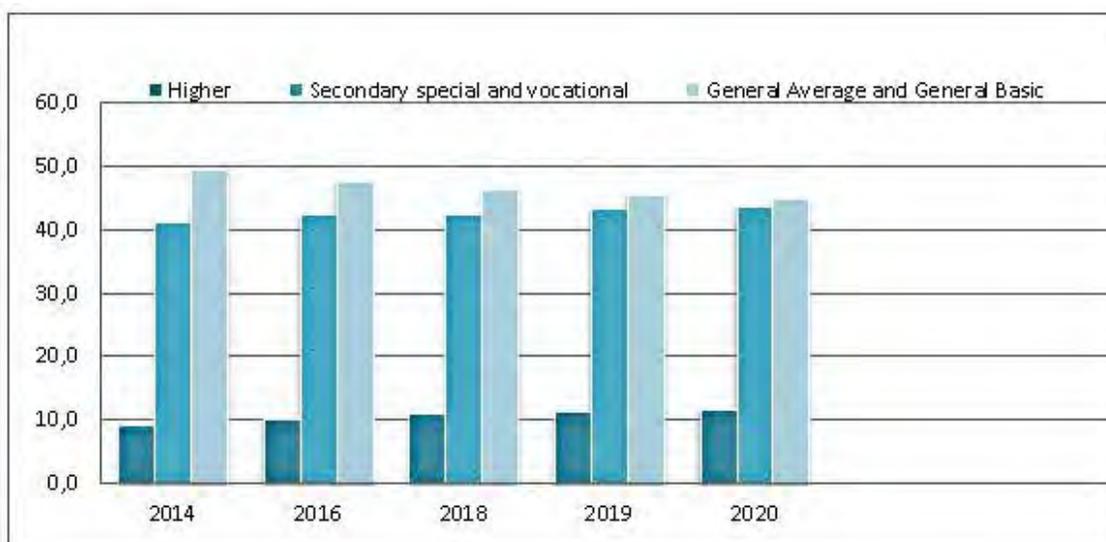


Figure 3 – Comparative analysis of employees of agricultural organizations by level of education and age groups for 2014–2020

Source: compiled by the author based on [6].

food and processing industry, trade) in the context of digitalization, increase its efficiency and competitiveness; ensure food security on this basis in the national security system of the country, a comprehensive solution to the socio-economic problems of rural development [10, p. 4].

The main directions for the development of agriculture in the context of digitalization are the following:

- digital technologies in the management of the agro-industrial complex;
- electronic maps of fields;
- unmanned agricultural machinery;
- "smart" farm;
- "smart" land use;
- "smart" greenhouse;
- "smart" field;
- "smart" garden;
- sharing of agricultural machinery [11, p. 108].

The creation of digital agriculture includes the following activities:

- collection, processing, storage and use of data;
- modeling, forecasting and planning of future crops;

- multifunctional suitability assessment;
- distribution of production capacities and resources;
- design of landscape systems.

The introduction of e-agriculture will help agricultural enterprises to successfully solve many problems [12, p. 15].

CONCLUSIONS

Thus, we can conclude that the modernization of agriculture in the context of the transition to a digital economy as an economic phenomenon is a complex and multidimensional concept that characterizes the process of selective adaptation of sectoral management to new economic and technological paradigms, revealing the multidimensional nature of continuous systemic transformations aimed at introducing progressive technologies that contribute to the deepening of the separation and growth of labor productivity, the expansion of the technical capabilities of agriculture, and the improvement of the environmental safety of biological resources.

In modern conditions, insufficient training of personnel can become the major obstacle to the introduction of innovations and ensuring the

competitiveness of the industry. Therefore, at present, the system of additional adult education in the Republic of Belarus should function effectively, which solves the problems of providing sectors of the economy with professional personnel of the required skill level, personnel support for innovative processes, and meeting the needs of employees in professional development.

The key distinguishing characteristic of the modernization of agriculture in the digital economy is the use of breakthrough technologies that reduce human participation in the production process and increase the efficiency of business processes, such as big data, artificial intelligence, new and portable energy sources, new production technologies, robotics, wireless communication, technologies for controlling the properties of biological objects, bio- and nanotechnologies.

Digitalization in the agricultural sector allows reducing risks, adapting to climate

change, and increasing crop yields. Reducing the cost of production, improving its quality and competitiveness based on the efficient use of resources and scientifically based approaches is the top priority task of digitalization.

Studying the trends in the development of agriculture in Western European countries, as well as the experience of the Belarusian agricultural organizations, allowed the Belarusian leadership to choose the right path, focused mainly on large-scale high-tech production.

The results of the analysis, the proposed directions for the development and modernization of agriculture can be of practical importance for making managerial decisions by country's and regional government bodies in the formation and implementation of regional and government programs for the development of the agro-industrial complex.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь (2022 г.), режим доступа: <http://pravo.by> (дата доступа 30.09.2022).
2. Указ Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы», режим доступа: <http://pravo.by> (дата доступа 20.09.2022).
3. Национальная стратегия устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года (2022 г.), режим доступа: <http://economy.gov.by> (дата доступа: 20.08.2022).
4. Соколова, А. В. (2021), Цифровизация экономики как фактор стимулирования экономического роста и решения социальных проблем, *XIII Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум – 2021»*,

REFERENCES

1. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus (2022), available at: <http://pravo.by> (accessed 30 September 2022).
2. Decree of the President of the Republic of Belarus dated May 7, 2020 № 156 «On priority areas of scientific, scientific, technical and innovative activities for 2021–2025», available at: <http://pravo.by> (accessed 20 September 2022).
3. National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the period up to 2030 (2022), available at: <http://economy.gov.by> (accessed 20 August 2022).
4. Sokolova, A. V. (2022), Digitalization of the economy as a factor in stimulating economic growth and solving social problems [Cifrovizaciya ekonomiki kak faktor stimulirovaniya ekonomicheskogo rosta i resheniya social'nyh problem], *XIII International Student Scientific*

- Москва, режим доступа: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018023808> (дата доступа 25.04.2022).
5. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 02 февраля 2021 г. № 66 «Государственной программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы» (2022 г.), режим доступа: <http://pravo.by> (дата доступа 30.08.2022).
6. Официальный интернет-портал Национального статистического комитета Республики Беларусь (2021 г.), режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/vneshnyaya-torgovlya> (дата доступа 28.09.2022).
7. Советникова, О. П., Петрова, А. В. (2022), Особенности трансформации сельского хозяйства в условиях цифровизации экономики, *Молодежь и наука в условиях цифровой трансформации общества: материалы I Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*, Минск, 24–25 марта 2022 г., Минск: МИТ-СО, 2022.
8. О развитии агропромышленного комплекса Витебской области (Указ Президента Республики Беларусь 25.02.2020 № 70), режим доступа: <https://pravo.by/pdf> (дата доступа 01.05.2022).
9. Советникова, О. П., Петрова, А. В. (2022), Цифровая трансформация сельского хозяйства в условиях устойчивого развития Республики Беларусь, *Материалы докладов 55-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск: УО «ВГТУ», 2022, т. 2, С. 414–417.
10. Федоренко, В. Ф. (2018), Цифровизация сельского хозяйства, *Техника и оборудование для села*, 2018, № 6, С. 2–9.
11. Ловчикова, Е. И. (2017), Цифровая экономика и кадровый потенциал АПК: стратегическая Conference «Student Scientific Forum – 2021», Moscow, available at: <https://scienceforum.ru/2021/article/2018023808> (accessed 25 April 2022).
5. Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated February 2, 2021 № 66 «State Program «Digital Development of Belarus» for 2021–2025» (2022), available at: <http://pravo.by> (accessed 30 August 2022).
6. The official Internet portal of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2021), available at: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/vneshnyaya-torgovlya/> (accessed 28 September 2022).
7. Sovetnikova, O. P., Petrova, A. V. (2022), Features of the transformation of agriculture in the context of digitalization of the economy [Osobennosti transformacii sel'skogo hozyajstva v usloviyah cifrovizacii ekonomiki], *Youth and science in the context of the digital transformation of society: materials of the I International. scientific conf. students, graduate students and young scientists*, Minsk, March 24–25, 2022
8. On the development of the agro-industrial complex of the Vitebsk region (Decree of the President of the Republic of Belarus on February 25, 2020 № 70), access mode: <https://pravo.by/document/P32000070.pdf> (accessed on May 1, 2022).
9. Sovetnikova, O. P., Petrova, A. V. (2022), Digital transformation of agriculture in the context of sustainable development of the Republic of Belarus [Cifrovaya transformaciya sel'skogo hozyajstva v usloviyah ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus'], *Proceedings of the 55th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk: VSTU , 2022, vol. 2, pp. 414–417.
10. Fedorenko, V. F. (2018), Digitalization of agriculture [Cifrovizaciya sel'skogo hozyajstva],

взаимосвязь и перспективы, *Вестник аграрной науки*, 2017, № 5 (68), С. 107–112.

12. Афонина, В. Е. (2018), Влияние цифровизации на развитие аграрного сектора экономики, *Международный сельскохозяйственный журнал*, 2018, № 3, С. 15–17.

Tekhnika i oborudovanie dlya sela – Machinery and equipment for rural areas, 2018, № 6, pp. 2–9.

11. Lovchikova, E. I. (2017), Digital economy and personnel potential of the agro-industrial complex: strategic relationship and prospects [Cifrovaya ekonomika i kadrovyy potencial APK: strategicheskaya vzaimosvyaz' i perspektivy], *Vestnik agrarnoj nauki – Bulletin of Agrarian Science*, 2017, № 5 (68), pp. 107–112.

12. Afonina, V. E. (2018), The impact of digitalization on the development of the agricultural sector of the economy [Vliyanie cifrovizatsii na razvitie agrarnogo sektora ekonomiki], *Mezhdunarodnyj sel'skohozyajstvennyj zhurnal – International Agricultural Journal*, 2018, № 3, pp. 15–17.

Статья поступила в редакцию 17. 10. 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ СТРАТЕГИИ «УМНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ»

RESEARCH ON THE DEVELOPMENT OF INDUSTRY ORGANIZATIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS FOR THE IMPLEMENTATION OF THE "SMART SPECIALIZATION" STRATEGY

УДК 332.1

О.М. Шерстнева*

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-192-202>
O. Sherstneva*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ИННОВАЦИИ, КЛАСТЕРЫ, КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО, РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, СТРАТЕГИЯ «УМНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ»

Для достижения стратегических целей укрепления и развития стран Европы особое внимание уделяется различным инструментам регионального развития, в частности стратегии «умная специализация». Ключевым аспектом «умной специализации» как на региональном, так и на международном уровне является продвижение технологий, науки и бизнеса, а также создание конкурентных преимуществ, которые позволили бы этим территориям стимулировать свое экономическое и социальное развитие на принципах устойчивого развития. «Умная специализация» представляет собой концепцию развития региона на основе идентификации конкурентоспособных сфер/видов деятельности и стимулирования smart-бизнес-систем и smart-кооперации. Целью данного исследования является аналитическая оценка развития организаций промышленности Республики Беларусь для внедрения стратегии «умной специализации» на основе разработанного методического инструментария. В статье определены основные элементы, групповые факторы и частные индикаторы, характеризующие возможность применения стратегии «умной специализации», включающие научную и инновационную среду регионов, а также предпринимательский сектор. Разработан методический инструментарий для исследования возможно-

ABSTRACT

INNOVATION, RESEARCH AND ENTREPRENEURSHIP, REGIONAL DEVELOPMENT, SMART SPECIALIZATION STRATEGY

The purpose of this article is an analytical assessment of the development of industrial organizations of the Republic of Belarus to explore the possibilities of implementing a strategy of "smart specialization" based on the developed methodological tools. The factors and private indicators of the elements of the "smart specialization" strategy are determined. A study of innovative, scientific and entrepreneurial activity of the Republic of Belarus was conducted using the GRETL econometric package. As part of the analysis, a relationship was determined between the specific weight of shipped innovative products with certain indicators. As a result of the conducted research, both positive trends were identified (an increase in the number of enterprises engaged in innovative activities; an increase in the volume of innovative products shipped; an increase in the share of small and medium-sized enterprises participating in joint innovation projects) and negative trends (a decrease in the number of personnel engaged in scientific research and the number of researchers with academic degrees). Conclusions are drawn about the prospects for the implementation of this strategy in the regions of the Republic of Belarus. The article proposes the main directions to intensify innovative, scientific and business development of enterprises of the Republic of Belarus in order to create the possibility of applying the strategy of "smart specialization".

* E-mail: olga_sherstneva@mail.ru (O. Sherstneva)

стей внедрения стратегии «умной специализации». Проведено исследование инновационной, научной и предпринимательской деятельности Республики Беларусь с использованием эконометрического пакета GRET. В результате проведенного исследования были определены как положительные (увеличение количества предприятий, занимавшихся инновационной деятельностью; рост объемов отгруженной инновационной продукции; увеличение доли малых и средних

предприятий, участвующих в совместных инновационных проектах), так и отрицательные тенденции (снижение численности персонала, занятого научными исследованиями и численности исследователей с учеными степенями). Предложены основные направления активизации инновационного, научного и бизнес-развития предприятий Республики Беларусь с целью создания возможности применения стратегии «умной специализации».

ВВЕДЕНИЕ

Развитие сильной региональной экономики и модели устойчивого роста для региона может помочь экономике страны добиться прогресса в направлении инклюзивности и решительно двигаться в направлении устойчивого развития. Устойчивый внутренний спрос и политическая поддержка привели к устойчивым темпам роста развитых экономик регионов Европы. Для достижения стратегических целей укрепления и развития стран Европы особое внимание уделяется различным инструментам регионального развития, в частности стратегии «умная специализация». Название стратегии произошло от английского – Regional Innovation Strategies of Smart Specialization, в мире широко используется аббревиатура – RIS3.

Ключевым аспектом «умной специализации» как на региональном, так и на международном уровне является продвижение технологий, науки и бизнеса, а также создание конкурентных преимуществ, которые позволили бы этим территориям стимулировать свое экономическое и социальное развитие на принципах устойчивого развития. Ключевым элементом стратегии «умной специализации» региональной инновационной деятельности и инновационного развития является продвижение технологий в сфере бизнеса предприятий, экономических и социальных институтов [1, 2]. Стратегия «умной специализации» фактически является частью стратегии разумного роста Европейской комиссии, которая направлена на то, чтобы привести Европу к более разумному, более инклюзивному и более устойчивому росту.

Таким образом, «умная специализация» представляет собой концепцию развития региона на основе идентификации конкурентоспособных сфер/видов деятельности и стимулирования smart-бизнес-систем и smart-кооперации [3].

В настоящее время вопросы теории и методологии развития стратегии «умной специализации» рассматриваются в работах таких зарубежных исследователей, как Antonelli, C. [4], Scellato, G. [5], Asheim, B., Grillitsch, M., Tripl, M. [6], Crespi, F. [7], Dominique Foray, Mongeau, C., & Scellato, G., а так же в российских – Агаева Л. К., Баринаева В. А., Белякова Г. Я., Иншаков О. В., Земцов С. П., Королева Е. Н., Проскурнин С. Д. [8], Хмелева Г. А. и других. Исследованием инновационной среды занимаются такие ученые, как Бендль А. С., Камagni, Кагельс М., Конаныхина О. В., Куницын Е. Ю., Морган К., Нуриева Д. С., Ромашин В. В., Трофимова В. М. и другие ученые.

Однако особый интерес представляет определение групповых факторов и частных индикаторов, характеризующих основные элементы стратегии «умной специализации», а также исследование показателей данных факторов для определения перспектив внедрения стратегии «умной специализации» в регионах Республики Беларусь.

Целью данного исследования является аналитическая оценка развития организаций промышленности Республики Беларусь для внедрения стратегии «умной специализации» на основе разработанного методического инструментария.

Задачи:

- разработать методический инструментарий для исследования возможностей внедрения

стратегии «умной специализации»;

- исследовать развитие организаций промышленности Республики Беларусь, используя разработанный методический инструментарий;

- разработать предложения по активизации инновационного, научного и бизнес-развития предприятий Республики Беларусь.

Методический инструментарий оценки возможностей внедрения стратегии «умной специализации»

Основными детерминантами развития стратегии «умной специализации», ссылаясь на европейский опыт, можно выделить такие составляющие, как:

1. Умный рост – совершенствование экономики, путем внедрения инноваций и знаний.

2. Устойчивый рост – развитие конкурентоспособной экономики за счет эффективного использования ресурсов, учета экологических факторов.

3. Инклюзивный рост – стимулирование экономики с учетом экономической, территориальной и социальной целостности на основе повышения занятости населения.

Интеграция знаний, ресурсоэффективности и экологичности происходит за счет такого объединяющего элемента, как инновации. Объединение данных элементов невозможно без поддержки государства, так как сфера научных исследований и разработок, развития технологий требует значительных финансовых инвестиций. Также посредством государственных органов можно объединить научную сферу страны с предпринимательским сектором (гранты, дотации, налоговые льготы и т.п.).

Достижение целей устойчивого развития на региональном уровне за счет использования новых технологий и инноваций возможно при условии их доступности. Соответственно, не только предпринимательскому сектору, но и государству целесообразно инвестировать в развитие научно-исследовательской деятельности и инновационных технологий. Необходимо четко определиться с приоритетными направлениями развития регионов, основываясь на концепции «умной специализации».

Для достижения и наращивания конкурентных преимуществ регионов необходимо консолидировать потенциал научно-иссле-

довательской деятельности с требованиями предпринимательского сектора, с целью непрерывного развития рынков труда, капитала и инноваций.

Измеримым и осязаемым эффектом такого сочетания является стратегия «умной специализации», устанавливающая приоритеты для достижения конкурентного преимущества путем развития и объединения сильных сторон в области научных исследований и инноваций с потребностями бизнеса, чтобы удовлетворить возникающие возможности и последовательно развивать рынок, избегая при этом дублирования или дробления усилий [9].

Методический инструментарий для исследования возможностей внедрения стратегии «умной специализации» в научной литературе в полной мере не описан, что обусловлено сложностью производимых расчетов, специфическими составляющими модели, а также отсутствием необходимых для анализа статистических данных. В связи с этим целесообразно разработать аналитическую методику оценки развития организаций промышленности Республики Беларусь для внедрения стратегии «умной специализации», основанную на групповых факторах и частных индикаторах.

На первом этапе разработки методики необходимо определить групповые факторы и частные индикаторы, включаемые в модель. Основными элементами стратегии «умной специализации» можно определить научную и инновационную среду регионов, а также предпринимательский сектор. Групповые факторы и частные индикаторы, характеризующие основные элементы стратегии «умной специализации», представлены в таблице 1.

В качестве результативного показателя предлагается использовать удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции. Выбор данных показателей для проведения исследования возможностей внедрения стратегии «умной специализации» объясняется простотой их использования и доступностью необходимых данных в официальной статистике [10–16].

Следующим этапом реализации методики является определение значений выбранных ранее частных индикаторов.

Таблица 1 – Групповые факторы и частные индикаторы, характеризующие основные элементы стратегии «умной специализации»

Групповой фактор	Частные индикаторы
Научная среда региона	<ul style="list-style-type: none"> – число организаций, выполнявших научные исследования и разработки; – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками; – численность исследователей с учеными степенями; – объем выполненных научных исследований и разработок, оказанных научно-технических услуг организациями
Инновационная среда региона	<ul style="list-style-type: none"> – удельный вес инновационно-активных организаций в общем числе организаций; – удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции; – распределение организаций промышленности, участвующих в совместных проектах по осуществлению инновационной деятельности
Предпринимательский сектор	<ul style="list-style-type: none"> – доля малых и средних предприятий (МСП), участвующих в совместных инновационных проектах, в общем числе обследованных МСП; – удельный вес объема инвестиций в основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал; – доля новых для рынка и новых для предприятия инноваций в общем товарообороте

В рамках дальнейшего анализа необходимо установить связь между удельным весом отгруженной инновационной продукцией с остальными индикаторами. С этой целью воспользуемся эконометрическим пакетом GRETL, построим МНК-оценку коэффициентов линейной модели множественной регрессии и проведем ее анализ.

Исследуя деятельность организаций промышленности по предложенным факторам и частным индикаторам элементов стратегии «умной специализации», сделаем выводы о перспективах внедрения данной стратегии в регионах Республики Беларусь.

Исследование развития организаций промышленности Республики Беларусь на основе разработанного методического инструментария

Аналитическая оценка по разработанному инструментарии была проведена по данным официальной статистики за период 2015–2020 гг. [10–16]. На основании этих данных была составлена матрица для дальнейшего анализа

по предложенному инструментарию (таблица 2).

В качестве зависимой переменной был выбран индикатор: Y – удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции, %.

В качестве независимых переменных, непосредственно влияющих на удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции, были выбраны индикаторы:

$X1$ – численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, человек;

$X2$ – количество совместных проектов по осуществлению инновационной деятельности;

$X3$ – объем выполненных научных исследований и разработок, оказанных научно-технических услуг организациями (в фактически действовавших ценах; тысяч рублей);

$X4$ – удельный вес инновационно-активных организаций в общем числе организаций, %;

$X5$ – число организаций, выполняющих научные исследования и разработки;

$X6$ – удельный вес объема инвестиций в

Таблица 2 – Матрица частных индикаторов, характеризующих основные элементы стратегии «умной специализации»

X1	X2	X3	X4	X5	Y	X6
18632	2763	418433	29,8	264	32,9	50,5
18828	2817	487193	30,3	278	29,8	55
18937	2787	539428	31,8	279	28,8	49,3
19127	2783	560479	32,3	282	31,3	50,3
17131	2665	613105	35,1	273	32,7	50,9
2851	359	87586	15,4	43	25,9	45,2
2970	345	87534	20,8	43	33,7	39,2
3690	350	112954	21,9	46	38	35,1
3845	348	118104	25,1	49	23,6	46,4
3739	345	124717	32,3	48	28,1	46,8
2086	138	29455	26,3	31	15	39,6
2259	139	33392	26	32	15,3	43,2
2234	144	31908	30,4	31	14,9	39,3
2203	128	30796	32	35	18	44,3
2162	122	55759	31,8	35	19,8	45,9
688	35	34927	22,2	30	6,9	31,6
643	38	82010	23,9	32	5,6	34
628	39	36448	23,9	33	6,1	46,7
612	32	54536	27,6	27	8,7	40,4
810	42	49436	27,6	29	12,3	42,1
633	77	11108	15,4	26	13,4	33,6
632	80	15742	15,2	26	12,1	28,9
677	62	19848	16,8	25	11,9	38,7
757	40	16691	15,7	24	12,9	39,1
596	39	19101	19,8	27	11,1	38,9
726	24	12260	16,3	20	2,1	17,4
809	27	14067	15,2	25	3,4	20,7
803	25	17566	18,7	23	3,9	22
713	38	19606	19,6	22	5,4	27,2
774	36	10676	18,7	21	7,1	26,4
326	48	2865	16	17	4,7	22,6
342	49	5839	15,7	18	4,3	18,9
442	48	6951	17,9	18	3,2	18,8
478	41	5292	18,1	21	3,4	19,2
410	31	5935	18,7	18	4,2	21,7

Источник: составлено по данным [10–16].

основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал, %.

В результате оценки МНК получены данные, представленные на рисунке 1, и получено уравнение регрессии, представленное формулой (1):

$$Y = 13,146 - 0,958637X5 + 0,00562859X1 + 0,0367171X2 + 0,000112009X3 - 0,31318X4 + 0,53615X6. \quad (1)$$

Оценка надежности коэффициентов регрессии осуществляется с помощью t-критерия Стьюдента, а модели в целом – по F-критерию Фишера. В полученной модели из шести коэффициентов оказались значимыми пять: численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками; объем выполненных научных исследований и разработок, оказан-

ных научно-технических услуг организациями; удельный вес инновационно-активных организаций в общем числе организаций; число организаций, выполняющих научные исследования и разработки; удельный вес объема инвестиций в основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал. Незначимым критерием оказался показатель численности исследователей с учеными степенями.

Однако в целом модель адекватна выборочным данным, так как наблюдаемое значение F-статистики ($F_{набл.} = 40,14$) больше критического значения ($F_{крит.} = 25,19$).

Для проверки нормальности распределения регрессионных остатков были использованы критерии Хи-квадрат, Дурника-Хансена, Шапиро-Уилка, Лиллифорса и Жака-Бера. По данным критериям гипотеза о нормальности распределения регрессионных остатков под-

Модель 1: МНК, использованы наблюдения 1-35
Зависимая переменная: Y

	Коэффициент	Ст. ошибка	t-статистика	p-значение	
const	13,1426	3,83578	3,426	0,0019	***
X5	-0,958637	0,172410	-5,560	<0,0001	***
X1	0,00562859	0,00202006	2,786	0,0095	***
X2	0,0367171	0,0229251	1,602	0,1205	
X3	0,000112009	2,41657e-05	4,635	<0,0001	***
X4	-0,313180	0,217971	-1,437	0,1619	
X6	0,536150	0,100150	5,353	<0,0001	***
Среднее завис. перемен	15,15714	Ст. откл. завис. перемен	10,97235		
Сумма кв. остатков	426,3238	Ст. ошибка модели	3,902032		
R-квадрат	0,895850	Исправ. R-квадрат	0,873532		
F(6, 28)	40,14031	P-значение (F)	1,73e-12		
Лог. правдоподобие	-93,41024	Крит. Акаике	200,8205		
Крит. Шварца	211,7079	Крит. Хеннана-Куинна	204,5788		

Рисунок 1 – Результаты МНК-оценки коэффициентов линейной модели множественной регрессии на все переменные эконометрическим пакетом GRETL

твердилась, следовательно, имеет смысл проводить дальнейший анализ полученного уравнения регрессии.

Самое большое влияние на результативный признак – удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции – оказывают такие показатели: удельный вес объема инвестиций в основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал, %; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, человек; количество совместных проектов по осуществлению инновационной деятельности (положительное влияние).

Модель регрессии в целом значима ($F_{набл.} = 40,14 > F_{крит.} = 25,19$; p -значение = $1,73e-12 < 0,05$). Значение коэффициента детерминации R^2 свидетельствует о том, что изменение удельного веса отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции на 89,6 % обусловлено влиянием удельного веса объема инвестиций в основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал; численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками; количеством совместных проектов по осуществлению инновационной деятельности; числом организаций, выполняющих научные исследования и разработки; объемом выполненных научных исследований и разработок, оказанных научно-технических услуг организациями.

По критериям Хи-квадрат, Дурника-Хансена, Шапиро-Уилка, Лиллифорса и Жака-Бера гипотеза о нормальности распределения регрессионных остатков принимается на уровне значимости $\alpha = 0,05$ (достигаемые уровни значимости соответственно равны 0,15; 0,30; 0,18; 0,43 и 0,24).

Следовательно, полученные данные подтверждают то, что на удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции оказывают такие показатели, как: удельный вес объема инвестиций в основной капитал организаций МСП в общем объеме инвестиций в основной капитал, %; численность персонала, занятого научными исследованиями и разработками, человек; количество совместных проектов по осуществлению инновационной деятельности.

Таким образом, по основным направлениям, характеризующим возможность применения стратегии «умной специализации», можно сделать следующие выводы.

Исследовательская деятельность регионов характеризуется снижением числа организаций, выполняющих научные исследования и разработки в целом по республике на 9 организаций. Однако рост исследуемых организаций виден по Витебской и Гомельской областям; лидирующее положение на протяжении последних пяти лет занимает г. Минск. Отстающими областями по данному показателю являются Могилевская и Гродненская область [10, с. 755].

Также происходит снижение численности персонала, занятого научными исследованиями, и численности исследователей с учеными степенями.

По численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками, можно отметить, что наибольшее количество человек соответствует г. Минску и Минской области, однако за 2020 г. наблюдается заметный прирост численности по Витебской области (+198). Но также за 2020 г. по сравнению с 2019 г. в целом по республике происходит снижение численности персонала, занятого научными исследованиями и разработками, на 2113 человек [11]. Численность исследователей с учеными степенями демонстрирует отрицательную динамику в -3,8 % (-130 чел.). Однако в разрезе областей в Могилевской наблюдается заметный рост численности исследователей на 10 чел. или на 31 %. Отрицательная динамика в целом по республике в первую очередь связана с недостаточным уровнем оплаты труда ученых и, как следствие, потерей престижности этого рода деятельности, переходом научных работников в бизнес-структуры, их выездом для трудоустройства за границу [10, с. 754].

Несмотря на снижение данных показателей в целом по Республике Беларусь наблюдается рост объема выполненных научных исследований и разработок, оказанных научно-технических услуг организациями.

Инновационная деятельность регионов. Одним из основных показателей эффективной инновационной деятельности является состояние внедрения инновационной продукции. В анали-

зируемом периоде темп роста отгруженной инновационной продукции был положительным по всем областям, за исключением Минской. Кроме того, наблюдалось снижение доли отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции в 2019 г. с 18,6 % до 16,6 %. Тем не менее в конце анализируемого периода наметилась положительная тенденция. Так, в 2020 г. по сравнению с 2019 г. удельный вес отгруженной инновационной продукции в общем объеме отгруженной продукции вырос с 16,6 % до 17,9 %. Данное обстоятельство свидетельствует об усилении восприимчивости национальных предприятий к инновациям как средству повышения своей конкурентоспособности [13].

Также следует отметить, что по итогам 2021 г. 88 организаций участвуют в совместных проектах по осуществлению инновационной деятельности, что составляет около 20 % от всех организаций, выполняющих научные исследования и разработки в 2021 г. Наибольшее количество организаций, участвовавших в совместных проектах по осуществлению инновационной деятельности в 2021 г., отмечается в г. Минске, по Брестской, Витебской и Минской областям. По количеству совместных проектов по осуществлению инновационной деятельности лидирует г. Минск и Брестская область [14]. По данным Национального статистического комитета значительными и решающими факторами, препятствующими инновациям, являются: экономические факторы (недостаток собственных денежных средств; высокая стоимость нововведений; длительные сроки окупаемости нововведений) и производственные факторы (низкий инновационный потенциал организации).

Предпринимательская деятельность регионов является одной из важных составляющих реализации стратегии «умной специализации» регионов и страны в целом. За период 2016–2020 гг. наблюдается рост доли малых и средних предприятий, участвующих в совместных инновационных проектах. Доля занятости персонала в наукоемких видах деятельности имела тенденцию к росту на протяжении пяти лет. Также доля новых для рынка и новых для фирмы инноваций в общем товарообороте в целом по Республике Беларусь в 2020 г. по сравнению с

2019 г. увеличилась на 0,39 % [15]. Рост данных показателей связан с увеличением удельного веса объема инвестиций в основной капитал организаций МСП. Лидирующее положение по удельному весу объема инвестиций в основной капитал организаций МСП занимают г. Минск, Минская, Могилевская и Витебская области. По Гродненской и Брестской областям заметно снижение удельного веса объема инвестиций в основной капитал организаций МСП за 2020 г. по сравнению с 2019 г. [16].

Проведенное исследование позволило установить, что развитию инновационной, научной и предпринимательской деятельности предприятий Республики Беларусь свойственны как положительные, так и отрицательные тенденции.

ВЫВОДЫ

Для активизации инновационного, научного и бизнес-развития предприятий Республики Беларусь с целью создания возможности применения стратегии «умной специализации» необходимы:

- освоение современных и инновационных направлений в приоритетных областях промышленности с целью улучшения качественных характеристик продукции;
- разработка и внедрение высокотехнологичной продукции с высокой долей инновационности за счет совершенствования производственных линий и использования инновационных ресурсов;
- совершенствование системы образования путем установления взаимодействия между производством и наукой в направлении практикоориентированности, внедрение на базе образовательных учреждений научно-производственных лабораторий по профильным специализациям;
- государственная поддержка организаций (не только крупных, но и малых, средних) в области финансирования научных направлений деятельности. В качестве источников финансирования использовать не только бюджетные средства, но и привлеченные (гранты, инновационные фонды);
- развитие различных форм научно-технического партнерства, расширение географии поиска деловых партнеров в инновационной сфере между областями и за рубежом.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ИСТАИ-2022)», которая состоялась 23–24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sörvik, J., Teräs, J., Dubois, A., Pertoldi, M. (2019), *Regional Studies*, 53(7), pp. 1070–1080.
2. Hassink, R., Gong, H. (2019), *European Planning Studies*, 27(10), pp. 2049–2065.
3. Шерстнева, О. М., Яшева, Г. А. (2022), Стратегия «умной специализации» регионов: теоретические аспекты и европейский опыт, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1(42), 2022, с. 214–226.
4. Antonelli, C., Crespi, F., Mongeau, C., & Scellato, G. (2016), The economics of technological congruence and the economic complexity of technological change, *Structural Change and Economic Dynamics*, 38, pp. 15–24.
5. Scellato, G. (2016), Knowledge composition, Jacobs externalities and innovation performance in European regions, *Regional Studies*, 51(11), available at: <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1217405> (accessed 20 september 2022).
6. Tripl, M. (2017), Smart specialization as an innovation-driven strategy for economic diversification: Examples from scandinavian regions. In *Advances in the Theory and Practice of Smart Specialization*, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017, pp. 73–97.
7. Dominique Foray (2014), From smart specialisation to smart specialisation policy, *European Journal of Innovation Management*, 17: 4, pp. 492–507.

REFERENCES

1. Sörvik, J., Teräs, J., Dubois, A., Pertoldi, M. (2019), *Regional Studies*, 53(7), pp. 1070–1080.
2. Hassink, R., Gong, H. (2019), *European Planning Studies*, 27(10), pp. 2049–2065.
3. Sherstneva, O. M., Yasheva G. A. (2022), Strategy of "smart specialization" of regions: theoretical aspects and European experience [Strategiya «umnoj specializacii» regionov: teoreticheskie aspekty i evropejskij opyt], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, № 1(42), pp. 214–226.
4. Antonelli, C., Crespi, F., Mongeau, C., & Scellato, G. (2016), The economics of technological congruence and the economic complexity of technological change, *Structural Change and Economic Dynamics*, 38, pp. 15–24.
5. Scellato, G. (2016), Knowledge composition, Jacobs externalities and innovation performance in European regions, *Regional Studies*, 51(11), available at: <https://doi.org/10.1080/00343404.2016.1217405> (accessed 20 september 2022).
6. Tripl, M. (2017), Smart specialization as an innovation-driven strategy for economic diversification: Examples from scandinavian regions. In *Advances in the Theory and Practice of Smart Specialization*, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2017, pp. 73–97.

8. Белякова, Г. Я., Проскурнин, С. Д. (2016), Умная специализация – стратегия устойчивого развития регионов, *European Social Science Journal*, 2016, № 10, с. 30–36.
9. Smart specialisation: Networking excellence for a sound Cohesion Policy European, *Parliament resolution of 14 January 2014 on smart specialisation: Networking excellence for a sound Cohesion Policy (2013/2094(INI))*, Off. J. Eur. Union 2016, 482, pp. 2–8.
10. Статистический сборник «Регионы Республики Беларусь 2021» (2021), Том 1, Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Минск, 2021, 776 с.
11. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148631>, дата доступа: 20.10.2022.
12. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148645>, дата доступа: 20.10.2022.
13. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148645>, дата доступа: 20.10.2022.
14. Статистический бюллетень «О научной и инновационной деятельности в Республике Беларусь в 2021 году» / Национальный статистический комитет Республики Беларусь, режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/>
7. Dominique Foray (2014), From smart specialisation to smart specialisation policy, *European Journal of Innovation Management*, 17: 4, pp. 492–507.
8. Belyakova, G. Ya., Proskurnin, S. D. (2016), Smart specialization – strategy of sustainable development of regions [Umnaya specializaciya – strategiya ustojchivogo razvitiya regionov], *European Social Science Journal*, 2016, № 10, pp. 30–36.
9. Smart specialisation: Networking excellence for a sound Cohesion Policy European, *Parliament resolution of 14 January 2014 on smart specialisation: Networking excellence for a sound Cohesion Policy (2013/2094(INI))*, Off. J. Eur. Union 2016, 482, pp. 2–8.
10. Statistical collection "Regions of the Republic of Belarus 2021". Volume 1 / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. [Statisticheskij sbornik «Regiony Respubliki Belarus' 2021. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'], Minsk, 2021, 776 p.
11. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information [Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. Interaktivnaya informacionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya oficial'noj statisticheskoy informacii], available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148631> (accessed 20 October 2022).
12. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information [Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. Interaktivnaya informacionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya oficial'noj statisticheskoy informacii], available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148645> (accessed 20 October 2022).

- public_bulletin/index_50314/, дата доступа: 20.10.2022.
15. Отдельные показатели Европейского инновационного табло (EIS-2021) по Республике Беларусь Национальный статистический комитет Республики Беларусь, режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/>, дата доступа: 20.10.2022.
 16. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации, режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=233842#>, дата доступа: 20.10.2022.
 13. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information [Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. Interaktivnaya informacionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya oficial'noj statisticheskoy informacii], available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=148645> (accessed 20 October 2022).
 14. Statistical Bulletin "On scientific and innovative activity in the Republic of Belarus in 2021" / National Statistical Committee of the Republic of Belarus. [Statisticheskij byulleten' «O nauchnoj i innovacionnoj deyatel'nosti v Respublike Belarus' v 2021 godu». Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'], available at: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_bulletin/index_50314/ (accessed 20 October 2022).
 15. Selected indicators of the European Innovation Scoreboard (EIS-2021) for the Republic of Belarus National Statistical Committee of the Republic of Belarus. [Otdel'nye pokazateli Evropejskogo innovacionnogo tablo (EIS-2021) po Respublike Belarus' Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'], available at: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/nauka-i-innovatsii/> (accessed 20 October 2022).
 16. National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Interactive information and analytical system for the dissemination of official statistical information [Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus'. Interaktivnaya informacionno-analiticheskaya sistema rasprostraneniya oficial'noj statisticheskoy informacii], available at: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=233842#> (accessed 20 October 2022).

Статья поступила в редакцию 14. 09. 2022 г.

КЛАСТЕРНАЯ ПОЛИТИКА В СТРАНАХ ЕВРОПЕЙСКОГО СОЮЗА И РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: КОМПАРАТИВНЫЙ АНАЛИЗ

CLUSTER POLICY IN THE EUROPEAN UNION COUNTRIES AND THE REPUBLIC OF BELARUS: A COMPARATIVE ANALYSIS

УДК 334.78

Г.А. Яшева*, Ю.Н. Николаева, В.Д. Кондратьева

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-203-217>

G. Yasheva*, Yu. Nikolaeva, V. Kondratieva

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

КЛАСТЕРЫ, КЛАСТЕРНАЯ ПОЛИТИКА, КЛАСТЕРНАЯ ИНИЦИАТИВА, КЛАСТЕРНЫЙ ПРОЕКТ, ИНСТИТУТЫ ПОДДЕРЖКИ

Актуальность темы статьи обусловлена особой ролью кластеров в построении конкурентоспособной и динамичной экономики. Теория кластеров используется для формирования экономической политики многих стран мира. Кластеры получили наиболее широкое распространение в странах Европейского союза, где зарегистрировано более 2500 кластерных организаций. В определенной степени этому способствовало создание механизма поддержки развития кластеров на уровне отдельных стран и общеевропейском уровне. В Республике Беларусь предприняты определенные шаги по формированию кластеров. Вместе с тем остаются нерешенными многие проблемы, являющиеся барьерами для их создания. Для эффективной реализации кластерной политики в Республике Беларусь необходимо обратиться к опыту стран Европы.

Основной целью исследования является анализ опыта формирования и реализации кластерной политики в странах Европейского Союза и его транспонирование на Республику Беларусь.

В статье проведен компаративный анализ процессов кластеризации в странах Европы и Республики Беларусь. Проанализированы исторические предпосылки формирования кластерной политики и ее эволюционный результат: определено количество кластеров в странах,

ABSTRACT

CLUSTERS, CLUSTER POLICY, CLUSTER INITIATIVE, CLUSTER PROJECT

World experience shows that the cluster is the most effective organizational form of business, stimulating the development of innovations and increasing the competitiveness of both individual business entities and regional, national economies. In international practice, the spread of cluster initiatives and the formation of national policies in the field of cluster development has become ubiquitous since the beginning of the 21st century. Today, industries of many European countries are fully or partially covered by clustering, and specialized infrastructure is being created. The positive experience of Europe can be applied to the implementation of cluster policy in the Republic of Belarus. To do this, a comparative analysis of clustering factors was performed.

The article provides a comparative analysis of clustering processes in European countries and the Republic of Belarus. The historical prerequisites for the formation of cluster policy and its evolutionary result are analyzed: the number of clusters in countries, their specialization and structure in relation to compliance with the cluster criteria are determined. Cluster support institutions and priority areas of activity, as well as the role of the state in the development of clusters, are identified. The sources of funding for cluster programs are analyzed, the levels of implementation of cluster projects are determined.

* E-mail: gala-ya@list.ru (G. Yasheva)

их специализация и структура относительно соответствия критериям кластера. Идентифицированы институты поддержки кластеров и приоритетные направления деятельности, а также роль государства в развитии кластеров. Проанализированы источники финансирования кластерных программ, определены уровни реализации кластерных проектов.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее значимых трендов в контексте осуществления экономической деятельности стала концепция кластерного подхода. В зарубежной практике реализация кластерной политики давно получила признание, в то время как белорусская экономика пока находится на пути к ее становлению. Для инновационного развития экономики руководствоваться принципами кластерного подхода необходимо по ряду причин. Это обеспечивает активизацию внешнеэкономических интеграций, позволяет предприятиям кластера существенно облегчить доступ к получению и обмену современными технологиями, специальными знаниями и т.д.

В зарубежных странах подтвержден факт того, что реализация кластерной политики способствует высокому темпу экономического роста, диверсификации экономики отдельных регионов и страны в целом. Еще в конце 19 века, в работах Альфреда Маршалла, были представлены основные базовые подходы к реализации кластерной политики. Поэтому, по сравнению с опытом Европейского Союза, можно сказать, что в настоящее время в Беларуси только происходит осознание преимуществ кластерного подхода для модернизации и технологического развития национальной экономики, а также для поддержки инновационной деятельности и инициатив.

Стратегия развития белорусской экономики предполагает рост ее конкурентоспособности, прорыв в повышении качества человеческого капитала и динамики производительности труда. Решение этих задач требует создания системы четкого взаимодействия государства, бизнеса и науки на основе использования эффективных институтов и технологий инновационного развития, среди которых немаловажную роль должен

играть кластерный подход. Предпосылки разработки и реализации кластерной политики заложены в Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь до 2035 года, в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2020–2025 годы, в Государственной программе инновационного развития. Таким образом, использование кластерного подхода уже заняло одно из ключевых мест в стратегии социально-экономического развития Республики Беларусь.

Использование кластерной политики в реальной экономике Республики Беларусь заключается в создании и развитии кластеров, которые должны стать новыми точками ее обновления и роста. Процесс кластеризации в Беларуси имеет свою специфику, и не всегда она отражает положительную динамику как кластера в целом, так и его отдельных участников. Перед государством стоит вопрос о повышении активности страны в инновационной сфере, что позволит в более полной мере использовать производственный и кадровый потенциал, повысить эффективность производства, сформировать новые источники качественного роста и усиления конкурентоспособности экономики.

Исходной методологической и теоретической базой исследования выступили научно-практические разработки зарубежных ученых в области теории и практики формирования кластерной политики, таких как: Э. Бергман, Ф. Тодлинг, М. Портер, М. Сторпер, С. Розенталь и У. Стрэндж, С. Розенфельд, А. Саксэниан, Т. Андерссон, П. Дойрингер, К. Кетельс, Ж. Линдквиста, Э. Солвелл, Дж. Э. Хансон, А.В. Арзуманян, Е.С. Варга, Ю.В. Винокурова, М.П. Войнаренко, А.Г. Гранберг, О.В. Иншакова, Н.И. Ларина, В.О. Мосейко, С.В. Раевской, И.В. Пилипенко, Д.Н. Валицкий,

Т.В. Цихан, И.В. Щепкова, Т.Б. Косарева. В Республике Беларусь вопросам методологии кластеризации посвящены труды Т. С. Вертинсой, Д.М. Крупского, С.Ф. Петинкина, Л.А. Истоминой, Г.А. Яшевой и др.

Изучение тенденций реализации кластерной политики также обусловило обращение авторов к исследованиям, проводимым специалистами Европейской комиссии, Европейской кластерной обсерватории, Всемирного экономического форума.

Для эффективной реализации кластерной политики в Республике Беларусь необходимо обратиться к опыту стран Европы. Основная цель исследования – провести сравнительный анализ кластерной политики Европейского Союза и Республики Беларусь и разработать рекомендации для совершенствования процесса кластеризации в Беларуси.

В рамках достижения поставленной цели обозначены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ исторических аспектов кластеризации стран Европы и Республики Беларусь;
- исследовать институты поддержки и их влияние на процессы кластеризации;
- сравнить источники финансирования кластеров в Европейском Союзе и в Республике Беларусь;
- обосновать направления совершенствования процесса кластеризации в Беларуси.

Исторические аспекты кластеризации стран Европы и Республики Беларусь

В странах Европы этапы кластеризации сформировались следующим образом [1]:

- Саммит в Лиссабоне в 2000 г., который утвердил обязательность формирования странами Европейского Союза национальных программ кластеризации. На этом же Саммите было создано «Европейское исследовательское пространство» (European Research Area, ERA) и была утверждена Программа развития Региональных Инновационных Систем (RIC).
- Саммит в Брюсселе в феврале 2007 г., который одобрил «Манифест кластеризации Европы».
- Саммит в Стокгольме 21.01.2008 г., который одобрил и огласил «Европейский кластерный меморандум» – план действий Европы по обес-

печению роста своей конкурентоспособности.

– Саммит Европейского Союза «Восточное партнерство», состоявшийся в Праге 7–10 мая 2009 г. Основная цель принимаемых документов – увеличить «критическую массу» кластеров, которая способна оказать влияние на повышение конкурентоспособности как отдельных стран, так и ЕС в целом.

Результатом кластерной политики стран Европейского Союза является рост кластеров в итальянской, польской, датской, финской, норвежской и шведской промышленности (рисунок 1).

В прошлом десятилетии большинство кластеров специализировалось на производстве потребительских товаров и создавалось с целью повышения конкурентоспособности отдельных регионов и территорий. На рубеже XXI в. стали появляться промышленные кластеры нового поколения, занимающиеся информатикой, дизайном, экологией, логистикой, производством биомедицинских препаратов и т. п.

Особенностью кластеров в Европейском Союзе является включение большого количества малых и средних предприятий (МСП) (таблица 1).

Отраслевые направления кластеров представлены в таблице 2.

Инновационная ориентированность кластеров постепенно возрастала, и сегодня она является важнейшей характеристикой, определяющей конкурентоспособность кластерных образований. Последние формируются там, где ожидается «прорывное» продвижение в области техники и технологии производства и последующего выхода на новые «рыночные ниши».

Республика Беларусь только становится на путь кластерного развития экономики. Целесообразность создания кластеров объясняется рядом факторов: кластеры являются инструментом повышения конкурентоспособности субъектов хозяйствования и национальной экономики в целом; способом консолидации отечественного бизнеса, идентификации и продвижения им своих экономических интересов; механизмом координации и развития государственно-частного партнерства [3]. Государственная политика Республики Беларусь направлена на поддержку кластерных инициатив, что выражается в разработке Государственной программы поддержки

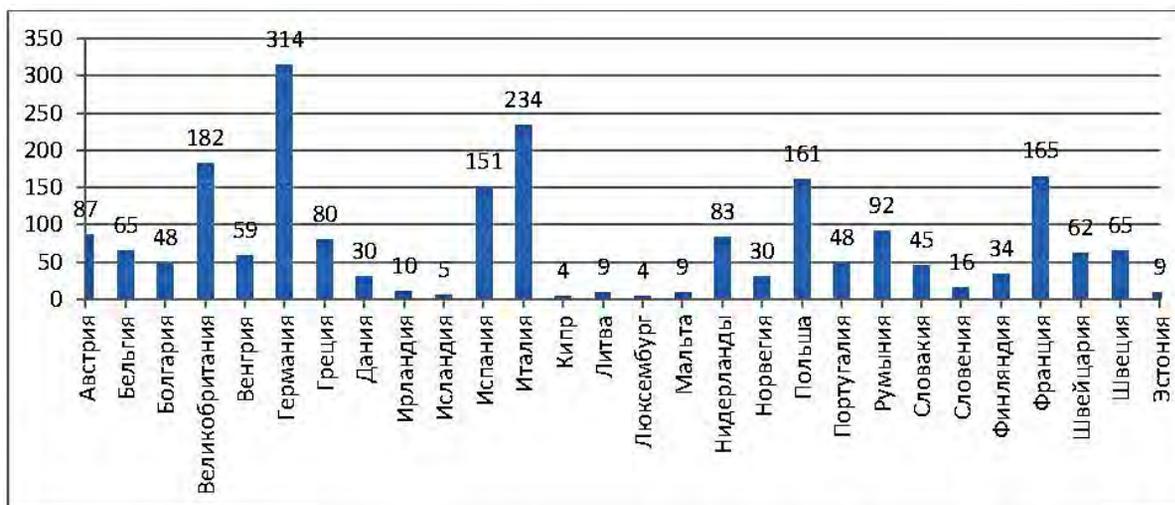


Рисунок 1 – Количество кластеров в странах Европейского Союза

Источник: на основе [2].

Таблица 1 – Примеры участия МСП в кластерных проектах текстильной отрасли промышленности

Название кластера	Число участников	Число МСП/доля
Кластер модной одежды и аксессуаров (Тоскана, Италия)	480	450 (93,8 %)
Ассоциация предпринимателей, работающих в сфере текстильной отрасли (Валенсия, Испания)	368	363 (98,6 %)
Европейский исследовательский кластер в области передовых текстильных материалов (Франция)	180	92 (51,1 %)
Португальский текстильный кластер	56	33 (58,9 %)

Источник: на основе [2].

малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь, Концепции формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь, методических рекомендаций по организации и осуществлению мониторинга кластерного развития. Однако, несмотря на государственную поддержку, кластерные формирования в Республике Беларусь развиваются медленно. В настоящее время в Республике Беларусь сформировалось только 8 кластеров, тогда как в странах Европы – в Италии – 206 кластеров, Польше – 161, Германии – 32, Франции – 96 кластеров [2]. Для наглядности

географического распределения действующих кластеров и кластерных инициатив разработана карта кластеров Республики Беларусь (рисунок 2).

Кластеры организуются в следующих отраслях: машиностроение, информационные технологии, приборостроение, нефтехимическая промышленность, медико-фармацевтическая промышленность, аграрные биотехнологии. Предполагается, что актуализация карты кластеров будет осуществляться на регулярной основе, по мере изменения «кластерного ландшафта» регионов. Сформированные кластеры включа-

Таблица 2 – Основные отраслевые направления кластеризации экономики некоторых стран

Отраслевые направления	Страна
Электронные технологии и связь	Швейцария, Финляндия
Биотехнологии и биоресурсы	Нидерланды, Франция, Германия, Великобритания, Норвегия
Фармацевтика и косметика	Дания, Швеция, Франция, Италия, Германия
Агропроизводство и пищевое производство	Финляндия, Бельгия, Франция, Италия, Нидерланды
Машиностроение, электроника	Нидерланды, Италия, Германия, Норвегия, Ирландия, Швейцарии
Здравоохранение	Швеция, Дания, Швейцария, Нидерланды
Коммуникации и транспорт	Нидерланды, Норвегия, Ирландия, Дания, Финляндия
Легкая промышленность	Швейцария, Австрия, Италия, Швеция, Дания, Финляндия
Строительство и девелопмент	Финляндия, Бельгия, Нидерланды
Лесобумажный комплекс	Финляндия

Источник: на основе [2].

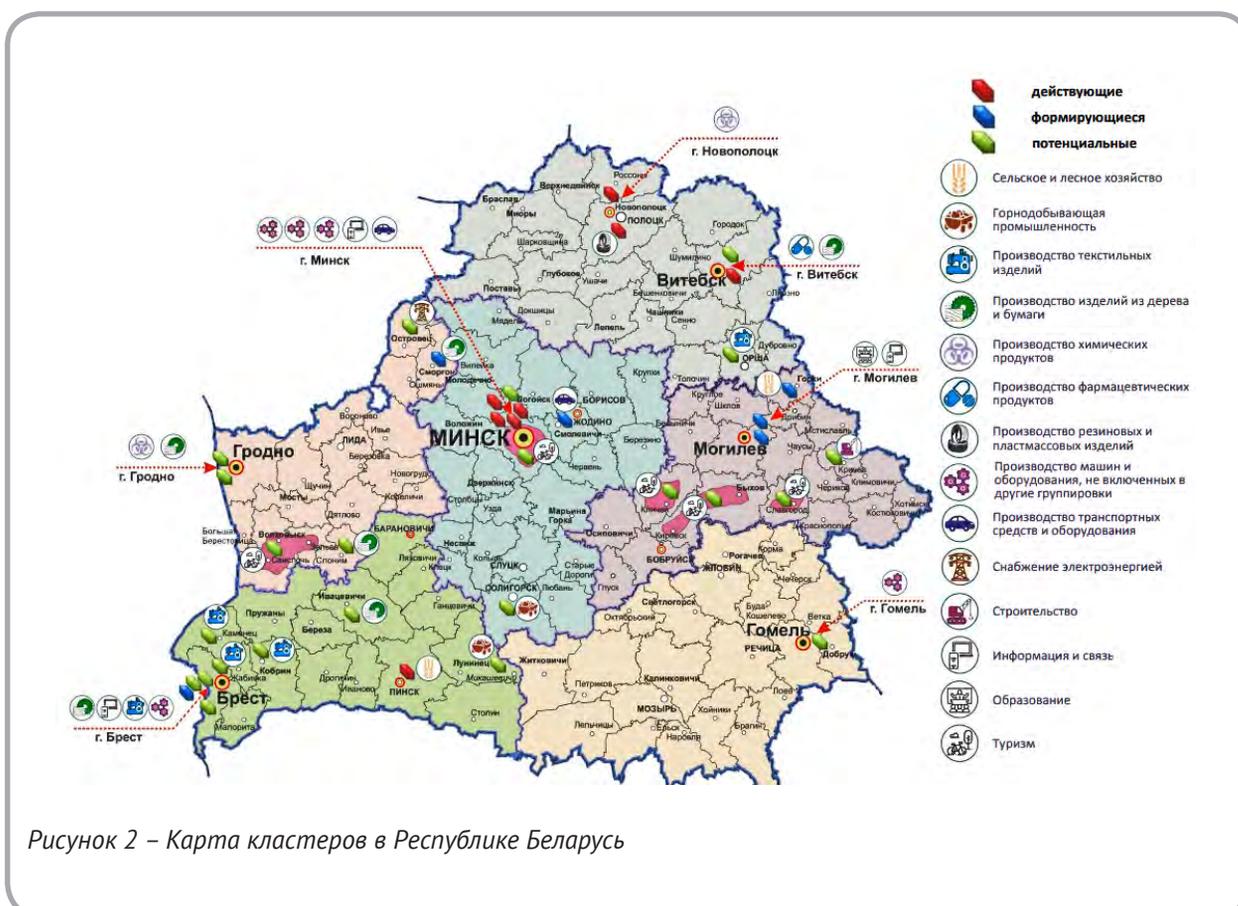


Рисунок 2 – Карта кластеров в Республике Беларусь

Источник: [4].

ют в себя базовую организацию и участников. Численный состав участников кластера от 7 до 48 предприятий. Кластер с наибольшим числом участников – IT-кластер с долей МСП в составе более 50%. Это единственный кластер в Республике Беларусь, отвечающий мировым стандартам кластера, – количество участников от 30 до 50 фирм, доля МСП более 50 % [5]. В большинстве белорусских кластеров доля МСП невысокая по сравнению с европейскими кластерами. Сравнительная исторический период развития кластеров в Европейском Союзе и Республике Беларусь, следует отметить, что период становления кластерной политики в Беларуси в 2 раза меньше. В связи с этим и сам результат кластеризации в виде созданных кластеров в десятки раз меньше.

Институты поддержки и их влияние на процессы кластеризации

Важное место в формировании единого общеевропейского подхода к кластерной политике занимают отдельные институты поддержки. Первое место отводится Европейской кластерной обсерватории, которая была учреждена в 2007 г. Центр стратегии и конкурентоспособности Стокгольмской школы экономики, возглавляемый О. Солвелл и Р. Тайгланд, стал осуществлять управление Обсерваторией и вести сбор статистических данных. Кластерная Обсерватория позволила объединить информацию о существующих кластерах, кластерных инициативах и политиках 36 стран Европы (в том числе России) и классифицировать их по различным параметрам, включая экономические индикаторы деятельности отдельных регионов и секторов экономики [2]. Кроме консолидации информации в рамках Обсерватории с 2009 по 2012 г. проводилась выработка методологии для отбора лучших практик среди европейских кластеров – European Cluster Excellence Initiative (ECEI) [6]. Ключевая цель инициативы заключалась в разработке методологии бенчмаркинга (сравнительного эталонного анализа) таких организаций для улучшения их внутреннего управления и процесса предоставления услуг. После 2012 г. задачи ECEI перешли к Европейскому секретариату кластерного анализа (European Secretariat for Cluster Analysis) и Европейскому фонду высококлассных кластеров (European Foundation for Cluster Excellence), которые продолжают осуществлять их бенчмаркинг

на постоянной основе, проводить специальное обучение для управляющих этими организациями. С целью развития международного сотрудничества между ними была создана Европейская платформа по кластерному сотрудничеству (European Cluster Collaboration Platform, ECCP) [7]. Более 1000 зарегистрированных на платформе кластерных организаций из Европы и других точек мира имеют возможность сопоставлять результаты своей деятельности с другими, принимать участие в специальных мероприятиях, позволяющих устанавливать взаимовыгодные деловые связи с необходимыми партнёрами и находить важные точки пересечения.

Более подробное описание ключевых драйверов кластерной политики в Европейском союзе представлено в таблице 3.

В совокупности указанные инициативы и платформы охватывают спектр инструментов, необходимых для координации кластерной политики и развития отдельно взятых малых и средних предприятий или проектов – от сбора информации до помощи в выходе европейских предприятий на мировые рынки. Не все организации сохранились в своем первоначальном виде, что говорит об эволюционном характере институтов кластерного развития в Европейском Союзе и подходов к реализации кластерной политики в целом.

В Республике Беларусь практически отсутствуют инициаторы кластерного развития. Единственным инвестором-инициатором создания кластеров является государство с фокусом внимания на поддержку исключительно государственных предприятий, входящих в кластер.

В сообщении о новом долгосрочном бюджетном цикле ЕС (2021–2027 гг.) в рамках программы «Единый рынок» кластеры упоминаются в качестве стратегического инструмента для поддержки конкурентоспособности и масштабирования малого и среднего предпринимательства, т.к. формируют более благоприятную среду для ведения предпринимательской деятельности. Общий, предлагаемый к утверждению объём финансирования программы «Единый рынок» составляет 4 млрд евро, из которых 1 млрд евро будет направлен на программу COSME, используемую в том числе для финансирования институтов по их развитию [9].

Таблица 3 – Драйверы кластерной политики Европейского союза

Название	Фокус деятельности	Организаторы / инвесторы	Участники
Европейская кластерная обсерватория (Европейская обсерватория по кластерам и промышленной трансформации)	Сбор информации о кластерах и кластерных инициативах	2007 г., Генеральный директорат по внутреннему рынку, промышленности, предпринимательству и малому и среднему бизнесу Европейской комиссии	Имеется информация о 36 странах
Европейский фонд высококлассных кластеров	Бенчмаркинг лучших кластерных практик, обучающие мероприятия	2003 г., Правительство Каталонии, Шведское агентство по инновациям (Vinnova), бывшее агентство по развитию в Великобритании (Yorkshire Forward)	Клиенты из национальных и региональных правительств, агентств развития, кластерных организаций
Европейский секретариат кластерного анализа	Бенчмаркинг и сертификация кластеров и организаций по управлению кластерами	2009 г., один из участников European Cluster Excellence Initiative – VDI/VDE Innovation + Technik GmbH	Сеть экспертов по кластерам из более 30 стран
Европейская кластерная платформа по сотрудничеству	Сбор информации, организация специализированных мероприятий, содействие международной коммуникации между участниками кластеров	2016 г., финансируется COSME, запущена Генеральным директоратом по внутреннему рынку, промышленности, предпринимательству и МСП Европейской комиссии	950 кластерных организаций со всего мира
Европейская сеть малого и среднего бизнеса	Являясь самой обширной сетью для МСП в мире, организация осуществляет поддержку международного роста компаний	2008 г., Еврокомиссия. Софинансируется в рамках программы конкурентоспособности МСП ЕС – COSME	60 стран, 3000 экспертов из 600 организаций – членов

Источник: на основе [8, 9].

В документе «Стратегия обновлённой промышленной политики ЕС» от 2017 г. отмечено создание экспертной группы высокого уровня по кластерам для предоставления рекомендаций о том, «как лучше использовать их в качестве стратегического инструмента промышленной политики». Фактически такая группа была создана в середине 2019 г. под эгидой Генерального директората по внутреннему рынку, промышленности, предпринимательству, малому и среднему бизнесу со сроком до конца 2020 г. Она объединяет 32 независимых эксперта и представителя органов власти стран – участниц ЕС [8].

Кроме того, кластерам отведена особая роль в «Видении промышленности Европейского Союза до 2030 г.». Промышленные кластеры рассматриваются как фундамент экосистемы, способствующей инновационной и технологической активности. В рамках мер по ускорению процессов цифровизации также планируется формирование «суперкластеров» с наукоёмкими стартапами в сфере искусственного интеллекта. Таким способом ЕС стремится сохранить свою конкурентоспособность, уделяя существенное внимание развитию инноваций, включая общую цифровизацию экономики. В документе упоминается программа «Кластеры изменений»,

направленная на поддержку нового поколения сетей, создающих стоимость, которые были бы открытыми, межсекторальными, нацеленными на реализацию «Целей устойчивого развития», взаимосвязанными, стимулируемыми предпринимательской активностью [9].

В качестве площадки для обмена мнениями по состоянию и перспективам реализации кластерной политики используется Форум европейской кластерной политики. Основной акцент в рамках последнего Форума был сделан на международном сотрудничестве и помощи в выходе малых и средних предприятий, участвующих в кластерах, на мировой рынок. Следующим шагом в кластерной политике Европейского Союза станет формирование «Объединённых кластерных инициатив» (Joint Cluster Initiatives). Именно они задумываются как попытка соединения множества усилий Европейского Союза по стимулированию превращения кластеров в единую систему.

Кластерная политика в Европейском Союзе рассматривается в качестве одного из ключевых инструментов достижения ключевых показателей, установленных в стратегии инновационного развития Horizon2020, Промышленной стратегии Европейского союза и Стратегии развития сельских территорий и сельского хозяйства. Ключевые показатели, которые закладываются в рамках данных документов, включают в себя следующее (таблица 4).

Выполнение этих показателей позволит повысить конкурентоспособность предприятий на национальном и международном уровне.

Таким образом, сильными сторонами европейской кластерной политики являются:

- наличие различных институтов поддержки;
- международное сотрудничество в рамках ЕС;
- новое видение кластеров – формирование «суперкластеров» с наукоёмкими стартапами в сфере искусственного интеллекта.

С учетом особенностей институционального развития Республики Беларусь, государственным органом, ответственным за разработку и реализацию государственной кластерной политики на национальном уровне, является Министерство экономики Республики Беларусь, на региональном уровне – комитеты экономики облисполкомов (Мингорисполкома) и управления экономики гор- и райисполкомов. Министерство экономики разработало ряд документов по кластеризации: Концепцию формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16.01.2014 года № 27), проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О некоторых вопросах формирования и реализации комплексных проектов на основе кластерной модели развития». Целью данного постановления является определение порядка организации и функционирования кластеров, формирование и реализация на их основе комплексных проектов, а также стимулирование кластерного развития национальной экономики, на основании норм действующего законодательства Республики Беларусь [4].

Таблица 4 – Ключевые показатели кластерного развития в ЕС

Показатель	2014	2020
Доля инвестиций в исследования и разработки (% от ВВП ЕС)	2,01 %	3 %
Уровень занятости в ЕС (% от трудоспособного населения)	69,2 %	Не менее 75 %
Наращивание торгового оборота со странами вне ЕС (товары) (% от ВВП ЕС)	29 %	56 %
Наращивание торгового оборота со странами вне ЕС (услуги) (% от ВВП ЕС)	9 %	53 %

Источник: на основе [8].

В 2019 году было проведено заседание Коллегии Минэкономики, в рамках которой рассмотрены результаты мониторинга кластерного развития регионов и указаны конкретные шаги, направленные на повышение государственной кластерной политики (протокол от 21.03.2021 № 8).

Еще одним институтом поддержки кластеров является информационный кластерный портал – «Clusterland.by». Он посвящен созданию и развитию кластеров в Республике Беларусь. Платформа является комплексным информационным ресурсом для широкого распространения знаний, отечественного и зарубежного опыта, методического инструментария, касающихся различных аспектов кластеризации экономики, а также для сотрудничества инициаторов и организаторов кластеров, их взаимодействия с институтами поддержки и инвесторами. Кластерный портал заложил основу для создания отечественной кластерной обсерватории (по опыту ЕС и других стран), формирования аналитического и консалтингового центра развития кластерной модели экономики Республики Беларусь [10].

Источники финансирования поддержки кластеров

Во многих странах поддержка кластеров осуществляется с помощью специальных программ, которые разрабатываются на национальном уровне. Некоторые страны включают поддержку кластеров в другие программы, например в программу поддержки малого и среднего предпринимательства.

В Европе поддержка кластерных программ осуществляется в рамках региональных инновационных стратегий [8].

В таких регионах, как, например, Каталония (Испания), Норте (Португалия), Валлония (Бельгия), Ховедстаден (Дания), Нормандия (Франция), Баден-Вюртемберг (Германия), действуют региональные программы по развитию кластеров (рисунок 3).

Кластерные программы привлекают разные источники финансирования, но основное значение имеет бюджетное финансирование и финансирование от фондов Европейского Союза, таких как Европейские структурные и инвестиционные фонды (ESIF) – всего в ЕС функционирует 5

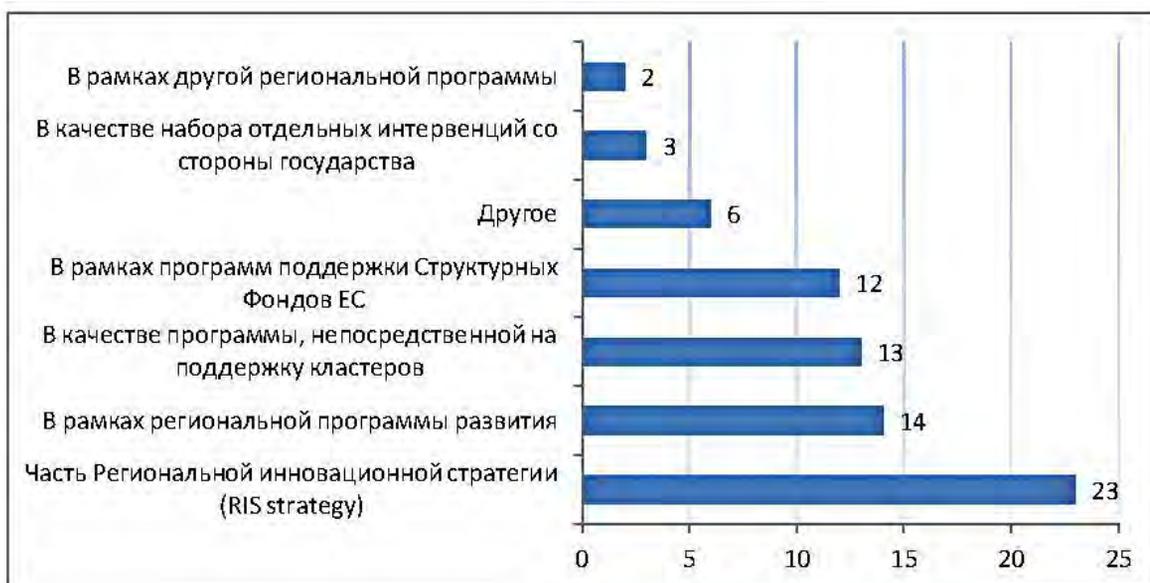


Рисунок 3 – Источники финансирования европейских кластерных программ

Источник: на основе [8, 9].

крупнейших инвестиционных фондов. Основная программа, направленная на развитие инноваций, в том числе в кластерах (Horizon2020) предполагает годовой бюджет в размере 80 млрд евро. В рамках этой программы предусмотрено несколько направлений финансирования: кластеры могут напрямую направлять заявки на целевые гранты в Фонды; кластеры могут финансироваться за счет средств национальных и региональных бюджетов, в которые поступают средства, предусмотренные программой.

Годовой бюджет кластерных программ значительно различается – от незначительных сумм до сотен миллионов евро (144 миллиона евро в год – бюджет программы France for the Pôles de Compétitivité) [9].

Существенная особенность всех программ – принцип со-финансирования всех ключевых расходов со стороны частного бизнеса, при этом, доля государственных и региональных средств составляет от 50 % до 90 %. Управление кластерными проектами, как правило, осуществляется кластерной ассоциацией, внутри которой существует управляющая компания, решающая текущие вопросы развития всего кластера. Реализацию программ поддержки кластерных проектов осуществляют министерства или агентства/организации, созданные при министерстве, при этом, кластерная политика реализуется на 4 уровнях: наднациональном, национальном, региональном и локальном (муниципальном) уровнях.

Зарубежный опыт свидетельствует о том, что наиболее эффективным является метод софинансирования кластерных проектов, когда привлекается несколько источников.

В Республике Беларусь государственная поддержка кластеров осуществляется в следующих направлениях:

1. Государственная поддержка субъектов инновационной инфраструктуры (являющихся членами кластеров) в соответствии с нормативным документом – Указом Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы» [11].

2. Государственная поддержка субъектов малого и среднего предпринимательства. Меры поддержки регламентируются Законом Респуб-

лики Беларусь от 1 июля 2010 г. «О поддержке малого и среднего предпринимательстве» [12], указами Президента Республики Беларусь от 21 мая 2009 г. № 255 «О некоторых мерах государственной поддержки малого предпринимательства» и от 29 марта 2012 г. № 150 «О некоторых вопросах аренды и безвозмездного пользования имуществом» [13], а также постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2010 г. № 1911 «О мерах по реализации Закона Республики Беларусь «О поддержке малого и среднего предпринимательства» [14].

В целях государственной поддержки кластеризации в Республике Беларусь разработан проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О некоторых вопросах формирования и реализации комплексных проектов на основе кластерной модели развития» [4]. Проектом Постановления предусмотрена поддержка участников кластера за счет средств инновационных фондов областей (рисунок 4).

Положением о порядке формирования и реализации комплексных проектов (в рамках проекта постановления) определяется, что «комплексный проект подлежит реализации в рамках одного или нескольких смежных видов экономической деятельности, при условии соответствия положениям Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы, а также наличия в его составе одной из совокупности мероприятий комплексного проекта согласно абзацам второго и третьему настоящей части:

- не менее одного научно-технического проекта и не менее одного инновационного проекта, предусматривающего коммерциализацию результата (результатов) научно-технической деятельности, полученного (полученных) после реализации этого научно-технического проекта, посредством организации новых производств по выпуску инновационной и (или) высокотехнологичной продукции, в том числе на основе интеграции информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий, являющихся отечественными и базирующихся на V и VI технологических укладах;
- не менее двух инновационных проектов, предусматривающих коммерциализацию ранее полученного (полученных) в Респуб-



Рисунок 4 – Механизм государственной поддержки кластеров в Республике Беларусь

Источник: на основе [4].

лике Беларусь результата (результатов) научно-технической деятельности, посредством организации новых производств по выпуску инновационной и (или) высокотехнологичной продукции, в том числе на основе интеграции информационно-коммуникационных и передовых производственных технологий, являющихся отечественными и базирующихся на V и VI технологических укладах.

В рамках комплексного проекта могут быть созданы объекты специализированной инфраструктуры (инновационной, инженерной, транспортной), необходимые для обеспечения полноценной производственно-хозяйственной и научно-инновационной деятельности участников кластера».

Принятие данного постановления Совета Министров Республики Беларусь «О некоторых вопросах формирования и реализации комплексных проектов, в том числе на основе кластерной модели развития» повлечет за собой положительные социально-экономические последствия, поскольку ускорит процесс интеграции сферы науки, образования и реального сектора экономики посредством формирования кластеров в перспективных и высокотехнологичных отраслях экономики и, как следствие, будет способствовать повышению уровня конкурентоспособности национальной экономики в целом.

Выводы

Компаративный анализ, проведенный в статье, позволил сделать следующие выводы и предложения по совершенствованию кластер-

ной модели в Республике Беларусь.

1. Период кластерного развития в Беларуси значительно меньше, чем в странах Европы. В большинстве белорусских кластеров доля МСП незначительная по сравнению с европейскими кластерами. В целях развития кластерной модели в Беларуси предлагается привлекать малый и средний бизнес в кластеры посредством мер экономического стимулирования кластерных проектов (льготные кредиты, льготирование прибыли, льготы по уплате пошлин на патентование и др.).

2. Механизм реализации кластерной политики в Европейском Союзе представляет собой поэтапный процесс развития нормативно-правовых и организационно-экономических условий, обеспечивающий взаимозависимые и партнерские отношения в рамках «тройной спирали». В отличие от Европейского Союза, где применяется многоуровневый механизм реализации кластерной политики, включающий принципы, методы, инструменты и институты на локальном, региональном, национальном и наднациональном уровнях, в Республике Беларусь используется двухуровневая модель реализации кластерной политики – национальная и региональная. Причем не выделяются специфические инструменты, методы, институты, используемые на разных уровнях реализации. Это является существенным недостатком в реализации кластерной политики в Республике Беларусь. Целесообразно развивать субъекты кластерной инфраструктуры – создавать региональные центры кластерного развития, региональные цифровые платформы, организовывать коворкинги, нетворкинги по развитию кластерных инициатив.

3. Для развития институтов поддержки кластеров в Республике Беларусь предлагается организовать кластерную обсерваторию, целью которой будет разработка и реализация специализированных мероприятий, содействующих инновационному развитию и решению актуальных проблем кластерной политики, а также оказание услуг органам государственной власти и местного самоуправления, частным и некоммерческим организациям в области региональной кластерной политики. Кластерная обсерватория в Беларуси должна включать национальный портал о кластерах и кластерной политике в Бела-

руси, центр специализированных образовательных услуг и программ в области кластеризации, центр измерения и оценки региональных инновационных систем, web-ресурс для практиков в сфере конкурентоспособности, развития кластеров и инноваций.

4. В странах Европы финансирование кластерных программ, так же как и реализация кластерной политики, осуществляется на различных уровнях. Бюджет формируется по принципу софинансирования. В Республике Беларусь финансирование кластерных проектов планируется осуществлять в рамках расходов региональных инновационных фондов. В целях совершенствования финансирования кластерных проектов предлагается несколько источников: средства учредителей ключевых предприятий кластера (венчурное финансирование); механизмы государственно-частного партнерства; средства государственного и региональных инновационных фондов; привлеченные средства под инновационные кластерные проекты (льготирование кредитов под инвестиционные проекты субъектов кластера).

5. Важным фактором, повлиявшим на трансформацию кластерной концепции, является Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0), которая меняет экономику и общество и быстро перестраивает бизнес-среду. Внешняя среда, особенности и характеристики Индустрии 4.0 создают новые предпосылки формирования кластеров в цифровой экономике, а именно: развитие информационно-компьютерных технологий и цифровизация общества, развитие сетевых форм взаимоотношений между субъектами хозяйствования, «демократизация» знаний благодаря Интернет. В условиях цифровой трансформации возникает необходимость разработки направлений кластеризации с использованием цифровых технологий, в т.ч. путем стимулирования цифровизации коммуникаций субъектов кластера, цифровизации бизнес-процессов в кластерах.

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что они могут быть использованы органами государственного и регионального управления для совершенствования кластерной политики в Республике Беларусь и разработки эффективных региональ-

ных кластерных стратегий.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научной-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022)», которая состоялась 23–24 ноября 2022 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Богатырева, О. Н. (2018), *Европейские модели регионализма*, Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет, Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 171 с.
2. Кластерная обсерватория в ЕС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.clusterobservatory.eu. – Дата доступа: 18.10.2022.
3. Вайлунова, Ю. Г. (2019), Методические аспекты оценки уровня и перспектив развития интеграционных связей организации в контексте создания кластерных структур, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2019, № 1(36), С. 187–203.
4. Министерство экономики Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/ru>. – Дата доступа: 18.10.2022.
5. Официальный сайт парка высоких технологий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.park.by/>. – Дата доступа: 18.10.2022.
6. European Cluster Panorama [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/growth/smes/cluster/observatory/cluster-mapping-services/clusterpanorama_en. – Дата доступа: 18.10.2022.
7. European Cluster Collaboration Platform [Элек-

REFERENCES

1. Bogatyreva, O. N. (2018), *Evropejskie modeli regionalizma* [European models of regionalism], Ministerstvo obrazovaniya i nauki Rossijskoj Federacii, Ural'skij federal'nyj universitet, Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo universiteta, Russian Ministry of Education and Science Federation, Ural Federal University, Yekaterinburg: Ural University Press, 171 p.
2. Cluster observatory in the EU [Klasternaya observatoriya v ES], available at: www.clusterobservatory.eu. (accessed 18 October 2022).
3. Vailunova, Y. G., Yashava, G. A. (2019), Methodical aspects of level and the prospects assessment of organization's integration communications in the context of cluster structures development [Metodicheskie aspekty ocenki urovnya i perspektiv razvitiya integracionnyh svyazej organizacii v kontekste sozdaniya klasternyh struktur], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2019, № 1 (36), pp. 187–203.
4. Ministry of Economy of the Republic of Belarus [Ministerstvo ekonomiki Respubliki Belarus'], available at: <https://economy.gov.by/ru>. (accessed 18 October 2022).
5. Official website of the high-tech park [Oficial'nyj sajt parka vysokih tekhnologij], available at:

Беларусь «О поддержке малого и среднего предпринимательства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://economy.gov.by/>. – Дата доступа: 18.10.2022].

(accessed 18 October 2022).

13. Decree of the President of the Republic of Belarus dated March 29, 2012 № 150 “On Certain Issues of Lease and Free Use of Property” [Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus' ot 29 marta 2012 g. № 150 «O nekotoryh voprosah arendy i bezvozmeznogo pol'zovaniya imushchestvom»], available at: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-150-ot-29-marta-2012-g-1512> (accessed 18 October 2022).
14. Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus dated December 30, 2010 № 1911 “On measures to implement the Law of the Republic of Belarus “On support for small and medium-sized businesses” [Postanovleniem Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 30 dekabrya 2010 g. № 1911 «O merah po realizacii Zakona Respubliki Belarus' «O podderzhke malogo i srednego predprinimatel'stva»], available at: <https://economy.gov.by/> (accessed 18 October 2022).

Статья поступила в редакцию 18. 09. 2022 г.

СТАРЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ: ПРОБЛЕМА И ПУТИ РЕШЕНИЯ**POPULATION AGEING: THE PROBLEM AND SOLUTIONS**

УДК 338.22–314.1

А.И. Ящук**Белорусский государственный университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-218-229>**A. Yashchuk****Belarusian State University***РЕФЕРАТ**

ДЕМОГРАФИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ, СТАРЕНИЕ НАСЕЛЕНИЯ, РОСТ НАСЕЛЕНИЯ, РОЖДАЕМОСТЬ, СМЕРТНОСТЬ, ТРУДОСПОСОБНОЕ НАСЕЛЕНИЕ, ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД, СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

Цель статьи – проанализировать глобальные демографические тенденции и их социальные и экономические последствия для современного общества, найти источники проблем и определить пути их решения. Установлено, что рост населения – это следствие процесса под названием «демографический переход», который характеризуется снижением уровня смертности и рождаемости. В конце демографического перехода происходит сокращение численности населения и его старение. Последствия старения – недофинансирование систем здравоохранения и пенсионного обеспечения, неустойчивость бюджета, падение ВВП. С одной стороны, старение – это и вызов для общества и его социально-экономической системы, с другой – это часть процесса демографического развития. Изучение и анализ зарубежного опыта стран с аналогичными проблемами показали, что адаптироваться к новым демографическим тенденциям возможно, используя комплексный подход к формированию социальной политики и лучший мировой опыт. Данный опыт показывает, что увеличение пенсионного возраста – не единственная мера, смягчающая последствия старения населения. Изменение образа мышления, переоценка отношения общества к людям третьего возраста, создание стимулирующих мер для работодателей и для

ABSTRACT

DEMOGRAPHIC TRENDS, POPULATION AGEING, POPULATION GROWTH, FERTILITY, MORTALITY, WORKING-AGE POPULATION, DEMOGRAPHIC TRANSITION, SOCIO-ECONOMIC POLICY

The purpose of the article is to analyze global demographic trends and their social and economic consequences for modern society, find the sources of problems and determine ways to solve them. It has been discovered that population growth is a consequence of a process called "demographic transition", which is characterized by a decrease in mortality and birth rates. At the end of the demographic transition, the population is declining and ageing. The consequences of ageing are the underfunding of health care systems and pensions, budget instability, falling GDP. On the one hand, ageing is also a challenge for society and its socio-economic system, on the other hand, it is part of the process of demographic development. The study and analysis of foreign experience of countries with similar problems have shown that it is possible to adapt to new demographic trends using an integrated approach to the formation of social policy and the best world experience. This experience shows that raising the retirement age is not the only measure to mitigate the effects of population ageing. Changing the way of thinking, re-evaluating society's attitude towards people of the third age, creating incentives for employers and employees for a longer working life, providing continuing education: these measures will allow social policy to adapt to modern demographic challenges and unleash the possibilities of an ageing society.

* E-mail: yashchuki@tut.by (A. Yashchuk)

работников для более долгой трудовой жизни, обеспечение непрерывного образования – эти меры позволят социальной политике адаптироваться к современным демографическим вызовам и раскрыть возможности стареющего общества.

Человек с его потребностями находится в центре программ устойчивого развития любого государства и общества, поэтому демографические процессы, происходящие как в мире, так и в нашей стране, особенно притягивают внимание ученых и практиков. Сегодня мы наблюдаем четыре мировые глобальные демографические тенденции – рост населения, старение населения, миграция и урбанизация, которые имеют серьезные последствия для экономического и социального развития.

Современные демографические тенденции связаны с процессами роста населения в одних странах и депопуляцией в других, с низкой рождаемостью и старением населения, увеличением нагрузки на работающих граждан, а также на систему социального обеспечения. Найти источники данных проблем и выработать пути их решения является приоритетом современной науки.

В данной публикации мы рассмотрим две мировые тенденции – рост и старение населения, которые больше всего влияют на нашу жизнь.

Мировые тенденции изменения количества и структуры населения

С 1950 г. население мира увеличилось более чем в три раза – примерно с 2,5 млрд человек до 7,9 млрд человек в 2021 г. По прогнозам ООН, к концу 2022 года в мире численность населения увеличится до 8 млрд человек [1]. Ожидается, что в 2030 году она вырастет примерно до 8,5 млрд человек, к 2050 году – до 9,7 млрд человек, а к 2100 году – до 10,9 млрд человек [2].

Население земного шара растет в результате двух тенденций: увеличения средней продолжительности жизни человека и высокого уровня рождаемости. Население менее развитых стран мира растет быстрее всего. По прогнозам ООН, общая численность населения этих стран почти

удвоится с 2020 года по 2050 год [2]. При этом во многих странах с низким доходом и доходом ниже среднего быстрый рост населения усугубляет проблемы достижения социального и экономического развития, поскольку не позволяет увеличивать государственные расходы на социальную сферу.

Рост населения – это следствие процесса под названием «демографический переход», когда снижение уровня смертности и рождаемости ведет к увеличению продолжительности жизни и уменьшению размера семьи. Демографический переход происходит в несколько этапов, во время которых рост населения сначала ускоряется, затем снова замедляется. Когда переход завершается, темпы роста населения стремятся к нулю или даже могут стать отрицательными. Тогда число смертей превышает число рождений, что приводит к сокращению численности населения и его старению.

Старение населения уже стало одной из наиболее значимых социальных трансформаций в развитых странах и одновременно вызовом XXI века. Демографическое старение (эйджинг, от англ. aging – старение) – это процесс, который характеризуется увеличением среднего возраста, ростом доли пожилых людей в общей численности населения и сокращением доли молодых. Никогда не было в мире столько людей, достигших 100-летнего возраста, как сегодня. К тому же количество людей в возрастной группе от 65 лет и старше растет большими темпами по сравнению с другими возрастными группами, а также по сравнению с трудоспособным населением [3]. Увеличение доли пожилых людей в общей численности населения наблюдается практически во всех странах, особенно в развитых.

В случае, когда причиной старения населения является падение рождаемости, то наряду с увеличением среднего возраста населения на-

блюдается сокращение более молодых когорт. При этом падение рождаемости – это ответная реакция на снижение детской смертности, повышение уровня образования, расширение участия женщин в составе рабочей силы. Все это меняет мотивацию родителей иметь детей. Ведь когда в семье меньше детей, она может увеличить инвестиции в каждого из них. Для современных западных обществ небольшие семьи стали нормой, зафиксировав то, как изменились экономические и социальные издержки и выгоды деторождения.

Глобальный коэффициент фертильности, то есть средняя рождаемость населения мира, в 2021 году составляла 2,3 рождения на женщину за всю жизнь (в 1950 году она составляла 5 рождений на женщину). По прогнозам, рождаемость в мире снизится до 2,1 рождения на женщину к 2050 (то есть до уровня простого воспроизводства), но несмотря на это, население мира в ближайшее время все еще будет расти из-за роста числа женщин репродуктивного возраста. В 2020 году темпы прироста населения мира впервые с 1950 года упали ниже 1 % в год. Прогнозируется, что население достигнет пика примерно в 10,4 миллиарда человек в 2080-х годах и останется на этом уровне до 2100 года [4].

Анализ демографических тенденций показывает, что эйджинг может стать серьезным вызовом для общества, перед которым возникает множество вопросов. Например, в какой степени старение населения будет замедлять экономический рост? Будет ли тормозиться технологический прогресс? Может ли повышение качества рабочей силы компенсировать уменьшение ее количества? Будут ли в условиях сокращения трудовых ресурсов эффективными солидарные пенсионные системы, созданные в совершенно иной демографической и экономической ситуации? В поиске ответов на эти вопросы ученые высказывают опасения, что глобальный эйджинг может вызвать мировые экономические потрясения [5].

Уже сегодня просматриваются тенденции увеличения доли пенсионеров, снижения численности работоспособного населения даже при повышении пенсионного возраста и, как следствие, замедления роста или сокращения ВВП, снижения темпов развития экономики. В связи

с этим страны со стареющим населением принимают шаги по адаптации государственных программ к растущему числу пожилых людей, в том числе путем повышения устойчивости систем социального и пенсионного обеспечения.

Увидеть общую картину старения человечества позволяют демографические прогнозы ООН, которые обновляются каждые два года [6].

В отчете ООН The World Population Prospects 2022 [7] говорится, что быстрый рост населения является как причиной, так и следствием медленного прогресса в развитии. Устойчиво высокая рождаемость и быстрый рост населения создают проблемы для достижения устойчивого развития. Например, необходимость обучения растущего числа детей и молодежи отвлекает ресурсы от усилий по улучшению качества образования. В то же время достижение Целей устойчивого развития (ЦУР), особенно связанных со здоровьем, образованием и гендерными вопросами, скорее всего, ускорит переход к более низкой рождаемости в странах с сохраняющимся высоким уровнем этого показателя.

Глобальная ожидаемая продолжительность жизни при рождении достигла 72,8 лет в 2019 году, что почти на 9 лет больше, чем в 1990 году. Специалисты ООН прогнозируют, что дальнейшее снижение смертности приведет к тому, что средняя глобальная продолжительность жизни составит около 77,2 года в 2050 году [7].

Экономические и социальные последствия эйджинга

Один из основополагающих вопросов состоит в том, каким образом старение влияет на экономический рост стран? Можно выделить следующие каналы влияния: сокращается доля трудоспособного населения, растет доля пожилых людей, снижается производительность труда, растет демографическая нагрузка на трудоспособное население, сокращаются потребительские расходы, что влияет на цены и на инфляцию [8], повышаются расходы на социальную защиту, пенсионную систему и здравоохранение, при этом база начисления страховых взносов сокращается.

Старение населения приводит к сокращению спроса и потребительской активности, увеличению доли неработающих (иждивенцев) по отношению к доле работающих, уменьшению наибо-

лее креативных, прогрессивных и открытых для инноваций и современных технологий слоёв общества. С увеличением доли пожилых людей в обществе пенсионная система становится всё менее эффективной, в результате неизбежно растёт пенсионный возраст.

Снижение экономического роста по мере старения общества наблюдается во многих странах мира. Наиболее ярким примером может служить Япония, которая почти три десятилетия находится в состоянии постоянной дефляции. Пожилое население Японии в 2021 году достигло почти 30 % всех жителей страны, что является рекордным размером за всю ее историю [9]. Ожидается, что к 2040 году оно вырастет до 35 %. При этом в стране накоплен большой дефицит бюджета, и она вынуждена сегодня предпринимать усилия по поддержке определенных сфер [10].

Демографическое старение вызвало дискуссии относительно долгосрочной финансовой устойчивости государств и распределительных государственных пенсионных систем. Политики отреагировали на них проведением реформ, направленных на отсрочку выхода на пенсию и продление трудовой жизни. Эти реформы включают повышение пенсионного возраста, прекращение досрочного выхода на пенсию и инвестиции в развитие возможностей пожилых работников.

Государства проводят разнонаправленную демографическую политику, преследуя противоположные цели: беднейшие страны озабочены поиском возможностей для удовлетворения потребностей многочисленного и постоянно растущего населения, а богатейшие страны изыскивают возможности стимулирования рождаемости.

Некоторые страны уже скорректировали свою демографическую политику в соответствии с новыми демографическими реалиями. От политики, ориентированной на снижение уровня рождаемости (например, Китай), они перешли к политике, направленной на его повышение. Эти перемены в политике вызваны демографическими изменениями, ведь старение и убыль населения приводят к дефициту рабочей силы и навыков, замедляют экономический рост, тормозят инновации, оказывают давление на бюджет, ведут к культурным изменениям в обществе, а

также ослабляют политическую и военную мощь стран.

Проблема старения населения уже не первое десятилетие находится в зоне внимания международных организаций. Впервые эти вопросы рассматривались в 1982 году на Первой Всемирной ассамблее по проблемам старения, которая разработала Венский международный план действий по проблемам старения. Этот документ содержал призыв к принятию конкретных мер по таким вопросам, как здравоохранение и питание, защита пожилых людей, жилищное строительство и окружающая среда, семья, социальное обеспечение, гарантированность дохода и занятости, образование, а также сбор и анализ исследовательских данных [3]. В 2002 году в Мадриде состоялась Вторая Всемирная ассамблея по проблемам старения. Она приняла Политическую декларацию и Мадридский международный план действий по проблемам старения. План действий требует пересмотра подходов, политики и практики на всех уровнях с целью задействования колоссального потенциала пожилых людей в XXI веке.

Стареющее общество может превратиться в негативный фактор. В нем человеческий и физический капитал, включая инфраструктуру, может устареть. Если численность населения перестает расти, то средний возраст человеческого и физического капитала повышается вместе со средним возрастом населения. Это может привести к снижению производительности. Пожилые люди более консервативны и, как следствие, менее изобретательны и менее предприимчивы. Стареющий мозг менее восприимчив к новой информации, чем молодой, но это компенсируется большим опытом и знаниями. Работники более старшего возраста менее мобильны, однако с годами люди становятся более добросовестными, пунктуальными и эмоционально устойчивыми. И если учесть, что некоторые навыки улучшаются с возрастом, то экономика может извлечь выгоду за счет сдвига в сторону тех отраслей, где эти навыки востребованы в большей степени [11]. Главное, сможем ли мы увидеть возможности и использовать эти сильные стороны в своих интересах.

Специалисты считают, что пришло время пересмотреть традиционную модель жизненно-

го цикла человека, в которой дети и молодежь учатся, трудоспособные работают, а старики отдыхают [3]. Возможно, необходимо признать новый этап жизни – между трудоспособным возрастом и старостью. Сегодня 65-летние люди находятся в гораздо лучшей форме, чем поколение их бабушек и дедушек, к тому же большинство людей в этом возрасте хотят активно участвовать в жизни общества. Один из способов повысить пенсионный возраст – привязать его пропорционально к ожидаемой продолжительности жизни.

В ближайшие годы доля трудоспособного населения в большинстве европейских стран будет снижаться. Это означает, что все меньше работников станут уплачивать взносы в пенсионную систему, а все больше пенсионеров получать пенсии. Финансирование пенсий будущих поколений станет под вопросом, если уровень занятости и рождаемости снизится, а изменений не будет [12].

Рассмотрим ключевые характеристики описываемых процессов в Республике Беларусь.

Количество населения в Беларуси снизилось с 10,045 миллионов человек в 1999 году до 9,41 миллионов человек в 2019 году [13]. Хотя в последние годы сокращение населения замедлилось. Этому способствовали меры экономической политики, направленные на стимулирование рождаемости.

По классификации Всемирного банка Беларусь – быстро стареющая страна [5]. По данным переписи населения 2019 г. в Беларуси проживали 2 131,5 тыс. пожилых граждан, или каждый пятый человек. Ожидаемая продолжительность жизни в Беларуси 74,5 лет (женщины – 79,4, мужчины – 69,3 %) [14].

В соответствии с классификацией ООН население считается старым, если доля лиц в возрасте старше 65 лет составляет 7 % и более. Беларусь, как и ее ближайшие соседи и страны ЕС, характеризуется долгосрочным и прогрессирующим процессом старения населения. На начало 2019 года в стране проживали более 2 млн пожилых людей старше 60 лет, что составляет около 22 % всего населения (для сравнения: в 2012 году их было 19,4 %). Согласно демографическому прогнозу, к 2030 году доля таких граждан составит более 27 % [15].

Динамика половозрастной структуры Республики Беларусь позволяет сделать вывод о том, что население страны быстро стареет. К 2040 г. пожилых людей будет в 1,5 раза больше, чем детей [16].

Несмотря на то, что в Беларуси действует разветвленная система государственных пособий: по материнству, семейные и по временной нетрудоспособности, по уходу за детьми – всего 11 видов, снижение рождаемости является главным вызовом демографической безопасности для нашей страны (таблица 1) [18]. За 2021 год население сократилось более чем на 94 тыс. человек [17]. Кардинально не могут решить проблему депопуляции в нашей стране ни повышение ожидаемой продолжительности жизни, ни резкое увеличение миграционного прироста. Следовательно, необходимо прорабатывать и другие варианты устойчивого развития страны в условиях депопуляции.

В основе сокращения занятого в экономике Беларуси населения лежат также негативные демографические процессы, которые с 2017 г. значительно смягчены повышением возраста выхода на пенсию, сильно замедлившим падение численности населения трудоспособного

Таблица 1 – Суммарный коэффициент рождаемости в Беларуси

Годы	1995	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Коэффициент рождаемости	1,406	1,317	1,252	1,486	1,708	1,719	1,534	1,448	1,388

Примечание: с 1995 г. по 2015 г. – данные с лагом пять лет.

Источник: составлено автором на основании данных Белстата [18].

возраста [19] (таблица 2) [21]. В апреле 2022 г. зафиксирован исторический минимум количества занятого в экономике населения – 4,234 млн чел. Удельный вес трудовых ресурсов в общей численности населения снизился с 64,1 % в 2010 году до 60,8 % в 2021 году [20].

В результате данных тенденций расходы пенсионного фонда будут постоянно расти по мере выхода на пенсию все больших когорт населения. Растущая разница между продолжительностью жизни и возрастом выхода на пенсию ставит под угрозу устойчивость систем социальной защиты.

По прогнозам, предположительная численность населения старше трудоспособного возраста к 2035 г. будет составлять 27,7 %, а демографическая нагрузка на трудоспособное население достигнет уровня 797 человек на 1 тыс. человек трудоспособного возраста (для сравнения: в 2015 г. коэффициент демографической нагрузки составлял 727 человек, в 2016 г. – 750 человек) [22].

Через несколько лет на пенсию начнут выходить самые многочисленные когорты населения, а замещать их на рынке труда будут наоборот немногочисленные. Рост продолжительности жизни на фоне незначительного роста рождаемости приведет к дальнейшему старению населения Беларуси.

Таким образом, текущая возрастная структура населения, рост продолжительности жизни и отсутствие роста количества населения станут серьезными вызовами для пенсионной системы страны. Увеличение доли пожилых граждан предполагает выработку дополнительных мер государственной политики, направленных на обеспечение социальной защищенности, а так-

же на повышение эффективности использования человеческого потенциала.

Меры государственной политики

Старение населения ставит уникальные задачи перед каждым обществом, поскольку, в отличие от других переменных факторов роста населения, таких как способность к воспроизведению и смертность, на которые в значительной мере можно повлиять политическим путем, процесс старения населения – необратимый фактор.

Специалисты видят два пути решения демографической проблемы в современной Беларуси: либо добиваться снижения смертности, либо мобилизовать все доступные ресурсы на дальнейшее повышение рождаемости.

Тенденции рождаемости – это крупнейший источник неопределенности, поэтому из-за опасений по поводу быстрого старения населения и сокращения его численности многие правительства решают проблему низкой рождаемости с помощью политики поддержки семей и поощрения деторождения. Финансовую поддержку семей с низким доходом часто дополняют политикой, способствующей совмещению оплачиваемой работы и воспитания детей, в том числе путем предоставления гибкого рабочего графика и доступа к высококачественному уходу за детьми. Как показала практика, такая политика – наиболее эффективная.

Демографические тенденции зачастую считаются непреодолимыми. Однако население и компании меняют свое поведение в ответ на изменение условий, а политика государства может либо способствовать, либо, наоборот, затруднять процессы адаптации к демографическим сдвигам.

Таблица 2 – Динамика численности рабочей силы, рождаемости и смертности в Республике Беларусь (2017–2021 гг.)

Параметры/Годы	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.
Рабочая сила, тыс. чел.	5 195,3	5141,6	5 122,4	5 091,6	5 047,5
Рождаемость, чел.	102 556	94 042	87 602	83 995	79 396
Умершие, чел.	119 311	120 053	120 470	60 600 [21]	94 000 [21]

Источник: составлено автором на основе данных Белстата и открытых источников [21].

Например, в Китае с 1979 года действовала программа «одна семья – один ребенок». Ее целью было ограничить численность населения КНР. В 2016 году гражданам разрешили иметь до двух детей. Теперь китайским семьям разрешили заводить троих детей. Предполагается, что это будет способствовать решению демографических проблем, связанных со старением населения, и позволит сохранить преимущество Китая в области человеческих ресурсов. Китайское государство планирует к 2025 году разработать политику активных мер по стимулированию рождаемости.

В большинстве стран с высокой рождаемостью правительства внедрились политику и программы, которые способствуют снижению уровня рождаемости с помощью различных механизмов, в том числе за счет программ планирования семьи, повышения минимального установленного законом возраста вступления в брак, путем улучшения образования, трудоустройства женщин.

Почти во всех странах Европы женщины имеют меньше детей, чем хотели бы. Это говорит о наличии барьеров для создания семьи и рождения детей, которые можно устранить за счет принятия мер государственной политики [11]. Как показывает опыт некоторых стран с высоким уровнем доходов, при наличии эффективных стимулов рождаемость может восстановиться до уровня простого воспроизводства. Во Франции уровень рождаемости удалось повысить за счет организации ухода за детьми раннего возраста, предоставления короткого отпуска по беременности и родам с выплатой пособия, которое привязано к величине заработка, и оказания финансовой поддержки семье в течение определенного периода после рождения ребенка. Такие меры – пример государственной политики, позволяющей женщинам сочетать работу с материнством, в результате чего женщины смогут не только иметь больше детей, но и более активно заниматься трудовой деятельностью.

Позитивным примером является также Исландия, которая достигла высокого уровня экономической активности женщин и обеспечила рождаемость выше уровня простого воспроизводства за счет двух важных мер государственной политики: первая – отпуск по уходу за ре-

бенком предоставляется не только женщинам, но и мужчинам, причем мужчинам выплачиваются большие пособия; вторая – высокий уровень охвата детей дошкольными образовательными учреждениями (их посещают более 90 % детей в возрасте от трех до пяти лет, причем родители оплачивают только около 30 % фактической стоимости содержания ребенка). Денежные выплаты при рождении ребенка и продолжительный отпуск по уходу за ребенком оказались эффективными временно или менее эффективными [11].

Самый большой риск несет с собой не старение населения, а неспособность адаптироваться к быстро меняющемуся миру. Изменения в поведении людей не происходят сами собой. Создание благоприятных условий, правильных стимулов, проведение соответствующей государственной политики могут ускорить эти изменения, чтобы страны успешно противостояли новым вызовам и использовали возможности, которые открывает старение населения [11].

По мере увеличения продолжительности жизни работники склонны все позже покидать ряды экономически активного населения. Это означает, что многие нынешние работники не станут иждивенцами, когда им исполнится 65. Предприятия могут воспользоваться этими изменениями и расширить применение производственных технологий, которые более активно используют навыки, учитывающие возраст работников [11].

Сегодня пожилые люди должны рассматриваться как участники процесса развития. Вовлечение старшего поколения в экономику – одно из важнейших условий устойчивого развития, ведь здоровые люди старшего возраста могут работать дольше, компенсируя дефицит рабочей силы, связанный со спадом рождаемости, а их опыт и знания являются неоценимым профессиональным ресурсом. Этот ресурс начнет работать только в том случае, если общество в целом осознает, что граждане старше 60 лет – это потенциал, а не нагрузка.

С учетом постепенного роста уровня жизни населения, включая повышение качества медицинского обслуживания, необходимо создавать среду, которая позволит лицам пенсионного возраста трудиться наравне со своими более молодыми коллегами. Системы пенсионного обес-

печения придется также адаптировать к новой демографической ситуации.

Внесение поправок в трудовое и пенсионное законодательство и совершенствование стимулов для осуществления инвестиций в человеческий капитал в течение всей трудовой жизни человека будет способствовать повышению активности и продуктивности пожилых людей на рынке труда.

Разные страны пытаются по-своему решить задачи и проблемы, которые перед ними ставит быстрый рост и старение населения. У такого феномена, как старение населения, нет прецедентов в истории человечества, поэтому государствам потребуется выработка новой социальной политики и поиск ресурсов, необходимых для ее успешного проведения в жизнь.

Для того, чтобы понять, какие меры государственной политики поощряют трудовую активность людей старшего возраста, целесообразно взглянуть на Исландию, где уровень занятости пожилых людей один из самых высоких в Европе и странах ОЭСР (Eurostat) [11]. Среди мер государственной политики наибольшего внимания заслуживают следующие:

- система пенсионного обеспечения предусматривает меньший размер пенсий для тех, кто рано выходит на пенсию;
- официально установлен поздний возраст выхода на пенсию (67 лет и для мужчин, и для женщин в течение трех последних десятилетий);
- существуют мощные стимулы к продолжению работы даже после достижения пенсионного возраста.

Исландия – один из мировых лидеров по охвату работников старшего возраста профессиональной подготовкой: 40 % работающих в возрасте 55–64 лет обучались в системе неформального образования. Кроме того, работодатели благожелательно относятся к работникам старшего возраста. Работа неполный рабочий день не регулируется никакими официальными нормативами, и на работников, занятых неполное рабочее время, распространяются те же условия, что и на работников, занятых полный рабочий день.

Частные организации также могут способствовать повышению производительности работников старшего возраста, используя различ-

ные эффективные механизмы. К ним относятся адаптация рабочих мест, перевод на работу, соответствующую возрасту, формирование рабочих коллективов из людей разного возраста, перевод на режим неполного рабочего времени, а также правильно построенное непрерывное образование. Эксперимент, проведенный на заводе BMW в Дингольфинге, говорит о том, что такие меры, как физическое изменение рабочего места, корректировка рабочего времени и занятия с физиотерапевтом являются эффективным способом повышения производительности работников старшего возраста [11].

Содействие обучению и переобучению взрослых и создание условий для занятости на рынке труда важно для стимулирования трудовой активности после наступления пенсионного возраста. Для этого необходим комплекс мер, который может включать предоставление государством налоговых льгот работодателям, принимающим на работу работников пожилого возраста, обучающим и переобучающим этих работников, а также создание самими работодателями гибких рабочих графиков.

Изменение спроса на профессиональные навыки и стремительное старение населения во многих странах еще больше подчеркивают необходимость создания эффективной системы образования и профессиональной подготовки для взрослых. Системы непрерывного образования должны обеспечивать актуальную профессиональную подготовку и использовать те навыки, которые являются сравнительным преимуществом работников старшего возраста. Поддержка предпринимательства в пожилом возрасте также может способствовать повышению активности работников старшего возраста на рынке труда.

Получение образования в позднем возрасте должно быть признано продуктивной инвестицией. Создание университетов для «третьего возраста» во многих странах, в том числе и в Беларуси, оказалось очень успешным механизмом.

Эффективная политика адаптации белорусского общества к процессам демографического старения позволит раскрыть возможности стареющего общества. Пожилые люди платят налоги, потребляют продукты и услуги, активизируя внутренний спрос, передают материальные ресурсы

своим детям и внукам, создают спрос на новые информационные технологии в медицине, уходе, социальной поддержке и коммуникациях, в проведении досуга. Трудно переоценить вклад бабушек и дедушек в уход за внуками и правнуками, в поддержание жизнедеятельности домашних хозяйств.

Пожилые люди уже играют большую роль в социальной и экономической политике, так как их доля растет. Однако их интересы часто не совпадают с интересами других членов общества. Это делает необходимым диалог между поколениями. Государство, продвигая социальную, экономическую и семейную политику, стимулирующую солидарность между поколениями, должно защищать и укреплять семью, чтобы она могла реагировать на запросы своих родных.

Необходимо учитывать и планировать будущие демографические изменения и формировать институты и общество, которые будут устойчивы к этим демографическим изменениям. А для этого требуется демографическое предвидение, например, предвидение характера и последствий крупных демографических изменений, а также формирование государственной политики, которая будет основана на такого рода анализе.

Таким образом, одной из важнейших задач социальной политики Беларуси является адаптация пожилых людей к быстро меняющимся условиям жизни, а также изменение в массовом сознании стереотипов, касающихся третьего возраста, признание его ценности, наполнение новым смыслом. Нам всем необходимо поменять взгляд на эту проблему. Нужна новая философия старения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 8 миллиардов. На пути к устойчивому будущему для всех – использование возможностей и обеспечение прав и выбора для всех (2020), доступен по адресу: / <https://www.un.org/ru/observances/world-population-day> (дата доступа: 11 июля 2022).
2. Global Population Growth and Sustainable Development (2022), available at: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_global_population_growth.pdf (accessed 10 July 2022).
3. Старение (2020), доступен по адресу: <https://www.un.org/ru/global-issues/ageing/> (дата доступа: 12 сентября 2022).
4. World Population Prospects 2022 (2022), available at: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (accessed 20 september 2022).

REFERENCES

1. 8 billion. Towards a sustainable future for all – harnessing opportunities and ensuring rights and choices for all (2022) [8 milliardov. Na puti k ustojchivomu budushchemu dlya vseh – ispol'zovanie vozmozhnostej i obespechenie prav i vybora dlya vseh], URL: <https://www.un.org/ru/observances/world-population-day>, access date: 11.07.2022.
2. Global Population Growth and Sustainable Development (2022), URL: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd_2022_global_population_growth.pdf, access date: 10.07.2022.
3. Aging (2020) [Starenie], URL: <https://www.un.org/ru/global-issues/ageing/>, access date: 12.09.2022.
4. World Population Prospects 2022 (2022), URL: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf

5. Капелюшников, Р. И. (2018), *Феномен старения населения: экономические эффекты*, Москва, 100 с.
6. World Population Prospects 2019 (2019), available at: https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf. (accessed 15 August 2022).
7. Ten key messages (2022), available at: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesapd_2022_wpp_key-messages.pdf. (accessed 15 August 2022).
8. Baksa, D., Munkacsi, Z. (2019), More Gray More Volatile? Aging and (Optimal) Monetary Policy, *IMF*, available at: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/09/20/More-Gray-More-Volatile-Aging-and-Optimal-Monetary-Policy-48532> (accessed 15 August 2022).
9. Япония – мировой лидер по показателям старения населения: 30 % населения в возрасте 65 лет и старше (2021), доступен по адресу: <https://www.nippon.com/ru/japan-data/h01120/> (дата доступа 20 августа 2022).
10. Саленков, М. (2022), Япония проводит конкурс идей для оживления рынка потребления алкоголя, доступен по адресу: <https://ru.euronews.com/2022/08/22/japan-sake-biba-business-contest> (дата доступа 11 августа 2022).
11. Буссоло, М., Кеттл, Й., Синнот, Э. (2015), Золотой век старения: перспективы здоровой, активной и обеспеченной старости, доступен по адресу: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/653531467998230238/pdf/97714-RUSSIAN-Box393202B-PUBLIC-Golden-Aging-Overview-rus.pdf> (дата доступа 22 августа 2022).
12. Окконен, К. (2021), Пенсии урезали, пособия убрали, выплаты увеличили?, доступен по адресу: https://www.is.fi/taloussanommat/art-wpp2022_summary_of_results.pdf, access date: 20.12.2022.
5. Kapelyushnikov, R. I. (2018), *Fenomen stareniya naseleniya: ekonomicheskie efekty* [The phenomenon of population aging: economic effects], Moscow, 100 p.
6. World Population Prospects 2019 (2019), URL: https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf, access date: 15.08.2022.
7. Ten key messages (2022), URL: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesapd_2022_wpp_key-messages.pdf, access date: 15.08.2022.
8. Baksa, D., Munkacsi, Z. (2019), More Gray More Volatile? Aging and (Optimal) Monetary Policy, *IMF*, URL: <https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/09/20/More-Gray-More-Volatile-Aging-and-Optimal-Monetary-Policy-48532>, access date: 15.08.2022.
9. Japan is the world leader in terms of population aging: 30% of the population aged 65 years and older (2021) [Yaponiya – mirovoj lider po pokazatelyam stareniya naseleniya: 30 % naseleniya v vozraste 65 let i starshe], URL: <https://www.nippon.com/ru/japan-data/h01120/>, access date: 20.08.2022.
10. Salenkov, M. (2022), Japan holds a contest of ideas to revive the alcohol consumption market [Yaponiya provodit konkurs idej dlya ozhivleniya rynka potrebleniya alkogolya], URL: <https://ru.euronews.com/2022/08/22/japan-sake-biba-business-contest>, access date: 11.08.2022.
11. Bussolo, M., Kettl, J., Sinnot, E. (2015), The Golden Age of Aging: prospects for a healthy, active and secure old age [Zolotoj vek stareniya: perspektivy zdorovoj, aktivnoj i obespechennoj starosti], URL: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/653531467998230238/>

- 2000008282186.html (дата доступа 11 августа 2022).
13. Общая численность населения, численность населения по возрасту и полу, состоянию в браке, уровню образования, национальностям, языку, источникам средств к существованию (2020), доступен по адресу: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/345/34515eeb3bb5f4ea5ca53b72290e9595.pdf> (дата доступа 11 августа 2022).
 14. Минздрав: продолжительность жизни женщин в Беларуси – 78 лет, мужчин – 64 (2020), доступен по адресу: <https://www.belta.by/society/view/minzdrav-prodolzhitelnost-zhizni-zhenschin-v-belarusi-78-let-muzhchin-64-408884-2020/> (дата доступа 11 августа 2022).
 15. Доля пожилых людей в Беларуси к 2030 году составит более 27 % (2019), доступен по адресу: <https://www.belta.by/society/view/dolja-pozhilyh-ljudej-v-belarusi-k-2030-godu-sostavit-bolee-27-362633-2019/> (дата доступа 21 августа 2022)
 16. Калабихина, И., Красовская, Н., Калмыкова, Н. (2018), *Демографическое старение в Республике Беларусь: вызовы и новые возможности. Аналитический обзор*, Минск, 47 с.
 17. Численность населения на 1 января 2022 года и среднегодовая численность населения за 2021 год по Республике Беларусь в разрезе областей, районов, городов, посёлков городского типа (2021), доступен по адресу: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/naselenie-i-migratsiya/naselenie/statisticheskie-izdaniya/index_46933/ (дата доступа 21 августа 2022).
 18. Суммарный коэффициент рождаемости (2021), доступен по адресу: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=> (дата доступа 10 августа 2022).
 12. Okkonen, K. (2021), Have pensions been cut, benefits removed, payments increased? [Pensii urezali, posobiya ubrali, vyplaty uvelichili?], URL: <https://www.is.fi/taloussanommat/art-2000008282186.html>, access date: 22.08.2022.
 13. Total population, population size by age and gender, marital status, level of education, nationality, language, sources of livelihood (2020) [Obshchaya chislennost' naseleniya, chislennost' naseleniya po vozrastu i polu, sostoyaniyu v brake, urovnyu obrazovaniya, nacional'nostyam, yazyku, istochnikam sredstv k sushchestvovaniyu], URL: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/345/34515eeb3bb5f4ea5ca53b72290e9595.pdf>, access date: 11.08.2022.
 14. Ministry of Health: life expectancy of women in Belarus is 78 years, men – 64 (2020) [Minzdrav: prodolzhitel'nost' zhizni zhenshin v Belarusi – 78 let, muzhchin – 64], URL: <https://www.belta.by/society/view/minzdrav-prodolzhitelnost-zhizni-zhenschin-v-belarusi-78-let-muzhchin-64-408884-2020/>, access date: 11.08.2022.
 15. The share of elderly people in Belarus will be more than 27 % by 2030 (2019), [Dolya pozhilyh lyudej v Belarusi k 2030 godu sostavit bolee 27 %], URL: <https://www.belta.by/society/view/dolja-pozhilyh-ljudej-v-belarusi-k-2030-godu-sostavit-bolee-27-362633-2019/>, access date: 21.08.2022.
 16. Kalabihina, I., Krasovskaya, N., Kalmykova, N. (2018), *Demograficheskoe starenie v Respublike Belarus': vyzovy i novye vozmozhnosti: Analiticheskij obzor* [Demographic aging in the Republic of Belarus: challenges and new opportunities: Analytical review], Minsk, 47 p.
 17. Population as of January 1, 2022 and the average annual population for 2021 in the

19. В Беларуси рекордно низкая занятость: это влияние демографии или экономики (2022), доступен по адресу: <https://neg.by/novosti/otkrytj/v-belarusi-rekordno-nizkaya-zanyatost-eto-vliyanie-demografii-ili-ekonomiki/> (дата доступа 11 сентября 2022).
20. Удельный вес трудовых ресурсов в общей численности населения (2021), доступен по адресу: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=153132> (дата доступа 1 сентября 2022).
21. Беларусь продолжает терять население: минус 94 тысячи за 2021 год (2022), доступен по адресу: <https://neg.by/novosti/otkrytj/chislennost-naselenija-belarusi-sokrashhaetsja-minus-94-tysyach-za-2021-god/> (дата доступа 1 сентября 2022).
22. Пенсия в цифрах и фактах (2017), доступен по адресу: <https://neg.by/novosti/otkrytj/pensiya-v-cifrah-i-faktah/> (дата доступа 1 сентября 2022).
- Republic of Belarus by regions, districts, cities, urban-type settlements (2021) [Chislennost' naseleniya na 1 yanvarya 2022 goda i srednegodovaya chislennost' naseleniya za 2021 god po Respublike Belarus' v razreze oblastej, rajonov, gorodov, posyolkov gorodskogo tipa], URL: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/solialnaya-sfera/naselenie-i-migratsiya/naselenie/statisticheskie-izdaniya/index_46933/, access date: 21.08.2022.
18. Total fertility rate (2021), [Summarnyj koefficient rozhdadnosti], URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=>, access date: 10.08.2022.
19. Belarus has record low employment: is it the influence of demography or economics (2022), [V Belarusi rekordno nizkaya zanyatost': eto vliyanie demografii ili ekonomiki], URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/v-belarusi-rekordno-nizkaya-zanyatost-eto-vliyanie-demografii-ili-ekonomiki/>, access date: 11.09.2022.
20. The share of labor resources in the total population (2021), [Udel'nyj ves trudovyh resursov v obshchej chislennosti naseleniya], URL: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Preview?key=153132>, access date: 01.09.2022.
21. Belarus continues to lose population: minus 94 thousand in 2021 (2022), [Belarus' prodolzhaet teryat' naselenie: minus 94 tysyachi za 2021 god], URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/chislennost-naselenija-belarusi-sokrashhaetsja-minus-94-tysyach-za-2021-god/>, access date: 01.09.2022.
22. Pension in figures and facts (2017), [Pensiya v cifrah i faktah], URL: <https://neg.by/novosti/otkrytj/pensiya-v-cifrah-i-faktah/>, access date: 01.09.2022.

Статья поступила в редакцию 31. 10. 2022 г.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В БЕЛАРУСИ: КАК ВСЕ НАЧИНАЛОСЬ

ADDITIVE TECHNOLOGIES IN BELARUS: HOW IT ALL BEGAN

УДК 621.77.04

Н.К. Толочко*

*Белорусский государственный аграрный
технический университет*

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-230-238>

N. Tolochko*

*Belarusian State Agrarian Technical
University*

В последние годы в Беларуси начали находить все более широкое применение аддитивные технологии, или, как их еще называют, технологии 3D-печати. Они вторгаются как в промышленную, так и в социальную сферу. В связи с этим повышается интерес к вопросам истории их развития в Беларуси: когда, где и как они возникли? каковы были первые шаги их становления? Краткому рассмотрению этих вопросов посвящена данная статья.

Принято считать, что практическое освоение аддитивных технологий в мире началось в 1980-е годы. Именно в те годы были выполнены первые коммерчески успешные разработки в области этих технологий (тогда их называли технологиями послойного синтеза, позднее их стали называть технологиями быстрого прототипирования – Rapid Prototyping). Следует заметить, что выходу аддитивных технологий на коммерческий путь развития предшествовал длительный период разработки их различных вариантов, которые, однако, не нашли широкого применения.

Тогда же, в 1980-е годы, началась разработка аддитивных технологий в Беларуси. Инициатором этих разработок был к.т.н. В.И. Горюшкин, заведующий кафедрой технологии машиностроения Витебского технологического института лёгкой промышленности (ВТИЛП) (с 1995 г. Витебский государственный технологический университет, ВГТУ).

С 1982 г. В.И. Горюшкин (совместно с российскими коллегами) выполнял комплекс НИОКР в области технологий послойного синтеза (ТПС) в

Центральном аэрогидродинамическом институте [1]. В рамках проводившихся исследований во ВТИЛП и Московском авиационном институте (МАИ) были разработаны экспериментальные установки для реализации технологий послойного синтеза изделий из листовых материалов.

В 1984 г. была издана книга В.И. Горюшкина «Основы гибкого производства деталей машин и приборов» [2]. В ней описаны схемы реализации процессов послойного синтеза, позволявших создавать изделия из порошков, жидких фотополимеров и листовых материалов, т. е. представлявших собой прообразы, соответственно, таких современных аддитивных технологий, как: Selective Laser Sintering (SLS), Stereolithography Apparatus (SLA) и Sheet Lamination (SL).

В это же время появляются первые коммерчески успешные разработки аддитивных технологий за рубежом. В 1984 г. Ч. Халл (США) разработал SLA-технология, а в 1986 г. основал компанию 3D Systems (США), начавшую выпускать SLA-3D-принтеры. Дальнейшим развитием SLA-технологии стала разработка масочной стереолитографии в 1986 г. в компании Cubital (Израиль) и проекционной стереолитографии в 1987 г. в компании Texas Instruments (США). В 1986 г. К.Р. Декард (США) предложил SLS-технология, которая продвигалась на рынок фирмой Desktop Manufacturing (США). В 1986 г. М. Фейгин (США) подал заявку на патентование одного из вариантов SL-технологии (LOM), коммерциализацией которого занималась фирма Helisys (США).

* E-mail: n.tolochko@hotmail.com (N. Tolochko)

В 1980-90-е гг. В.И. Горюшкин и его коллеги из ВТИЛП занимались изготовлением аэро- и гидродинамических моделей, литейной и штамповой оснастки, «болванов» для формования корпусов малых и спортивных судов и других изделий (рисунок 1), которые получали по SL-технологии из листовых материалов (картона, шпона, пластика) с помощью специально созданной установки (рисунок 2). Однако большинство этих изделий не нашли практического примене-

ния, поскольку промышленные предприятия тогда еще не были готовы к восприятию аддитивных технологий. Одним из исключений было производство обувных колодок, которые были востребованы на обувных фабриках.

В эти же годы во ВТИЛП, наряду с SL-технологией, велись разработки в области SLA-технологии. Итогом этих разработок стала кандидатская диссертация, посвященная созданию компактных производственных систем для послойно-



Рисунок 1 – Образцы изделий, изготовленных из листовых материалов

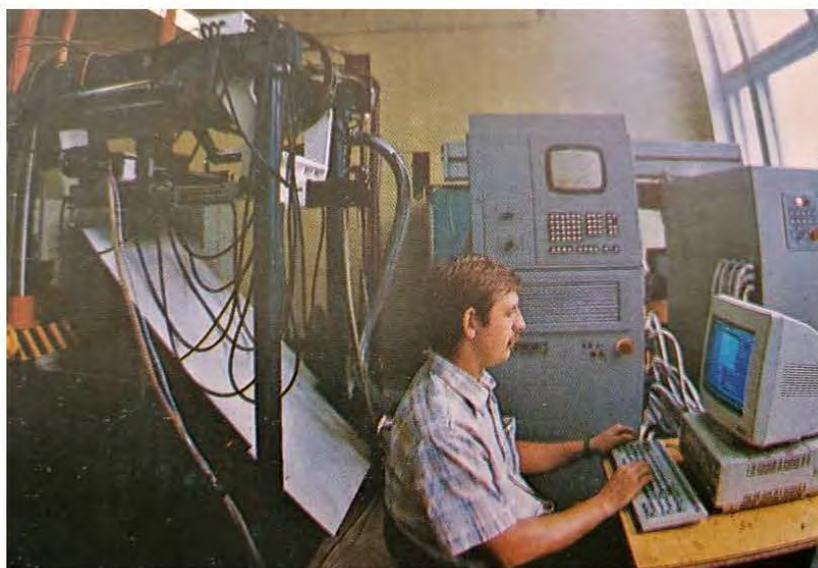


Рисунок 2 – Установка для изготовления изделий из листовых материалов по SL-технологии (ВТИЛП)

го синтеза деталей из фотополимеров, защищенная сотрудником ВТИЛП Д.Н. Свирским в 1994 г. [3]. Диссертация выполнялась в МАИ и ВТИЛП под научным руководством С.В. Скородумова, одного из ведущих российских специалистов в области SLA-технологии.

С 1992 г. по предложению В.И. Горюшкина аддитивные технологии начали разрабатываться в Витебском отделении Института физики твердого тела и полупроводников (с 1994 г. Институт технической акустики, ИТА). Основное внимание уделялось лазерно-порошковому аддитивным технологиям, для исследования которых в ИТА в 1994 г. была создана экспериментальная автоматизированная установка (рисунок 3) [4, 5]. С ее помощью с этого же года начала систематически изучаться уже известная тогда SLS-технология, а также новая, только зарождавшаяся в то время SLM-технология (Selective Laser Melting) (SLM-технология приобрела известность за рубежом после того, как была предложена в Институте Фраунгофера в Германии 1995 г.).

В рамках реализации SLS-технологии подвергали лазерному спеканию двухкомпонентные порошки, из которых один – легкоплавкий служил в качестве связующего агента (системы типа металл – металл, металл – керамика, полимер – металл, полимер керамика). В свою очередь, в рамках реализации SLM-технологии подвергали лазерному сплавлению однокомпонентные металлические порошки (сплавы на основе *Ni, Cu, Fe, Ti*). С помощью этих технологий изготавливали литейную оснастку, электроды-инструменты, демонстрационные образцы изделий (рисунки 4 и 5) [4, 5].

В ходе исследований SLS/SLM-процессов были определены характер поглощения лазерного излучения порошками, особенности теплообмена при лазерном облучении порошков, кинетические закономерности и механизмы формирования межчастичных и межслойных контактов при построении многослойных изделий путем селективной лазерной обработки порошков [6–11].

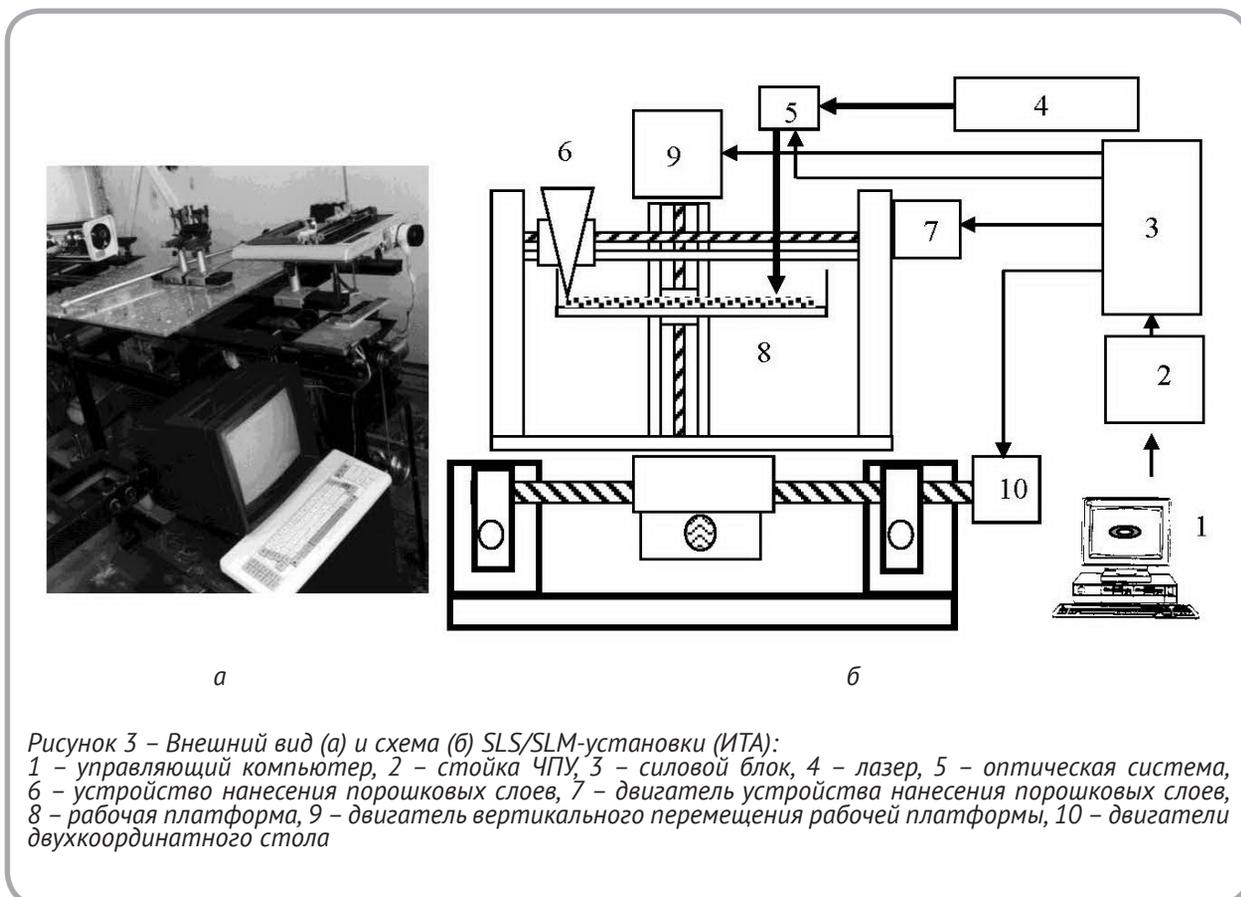




Рисунок 4 – Литейная SLS-модель на основе кварцевого песка и термопластичного полимерного связующего (слева) и чугунная отливка, изготовленная по этой модели методом литья в песчаные формы

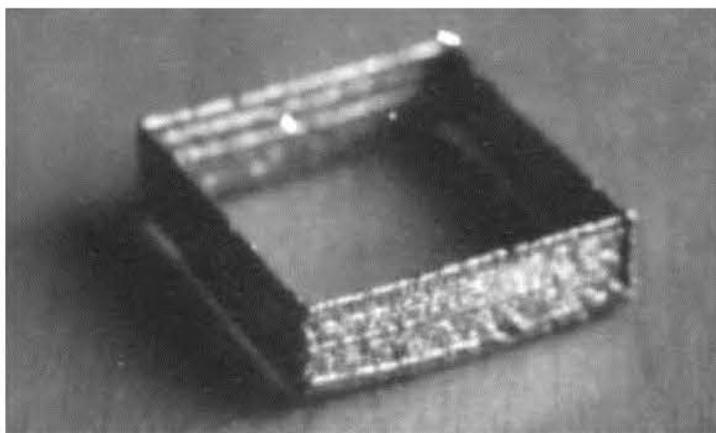


Рисунок 5 – Демонстрационный SLM-образец из Ni-сплава

Особый интерес представлял разработанный в 2001–2003 гг. комбинированный SLS/SLM-процесс изготовления дентальных имплантатов (корней зубов) из порошков на основе Ti -сплава с градиентной структурой, состоящей из прочного сплавленного сердечника и пористой спеченной оболочки, обеспечивавшей срастание имплантата с костной тканью [12]. Для реализации этого процесса в ИТА была создана экспериментальная установка, идея разработки которой была предложена в 1992 г. [13]. Эта установка по принципу работы была подобна современному DLMD-3D-принтеру (Direct Laser Metal Deposition) (DLMD-технология приобре-

ла известность за рубежом после того, как была предложена в Лос-Аламосской национальной лаборатории в США в 1995 г.). Апробация полученных имплантатов на лабораторных животных показала их пригодность для медицинского применения [14].

В 1990-е гг. в ИТА, наряду с лазерно-порошковыми технологиями послойного синтеза, также изучались технологии послойного синтеза, основанные на процессах фотополимеризации [15, 16], в частности, разрабатывались различные варианты масочной и проекционной стереолитографии. Для реализации проекционной стереолитографии в ИТА была создана

экспериментальная установка, в которой было предложено использовать электронно-лучевую трубку в качестве источника модулированного излучения для отверждения жидких фотополимеров [17].

Проводившиеся в ИТА исследования по аддитивным технологиям вызвали интерес в Западной Европе, благодаря чему по данной тематике было выполнено несколько проектов, финансированных в рамках европейской научной программы INTAS (вторая половина 1990-х – первая половина 2000-х годов). После окончания этой программы дальнейшие исследования по аддитивным технологиям не получили необходимой финансовой поддержки в Беларуси, поскольку в те годы и в научных, и в промышленных кругах еще не сформировалось должного понимания актуальности развития этих технологий. В силу сложившихся обстоятельств в первой половине 2000-х гг. работы в области аддитивных технологий в ИТА были прекращены.

Исследования по аддитивным технологиям, выполнявшиеся в ВТИЛП и ИТА в 1980–1990-е гг., а также начале 2000-х гг., не прошли бесследно. До сих пор ссылки на результаты этих исследований встречаются в научных публикациях. В последующие годы аналогичные исследования получили развитие в разных научных центрах Беларуси.

С начала 2000-х гг. в Полоцком государственном университете началась разработка концептуальных принципов организации интеллектуальных производств на основе использования аддитивных технологий (публикации по этой тематике продолжают до настоящего времени). В середине 2000-х гг. в Институте порошковой металлургии (ИПМ) совместно с Институтом физики и Институтом молекулярной и атомной физики (ИМАФ) была создана экспериментальная установка для получения изделий из порошковых материалов как в SLS-, так и в SLM-режиме, на которой был выполнен цикл исследований процессов аддитивного построения. В эти же годы в ИМАФ была разработана модифицированная DLMD-установка.

Исследования в области аддитивных технологий получили особенно заметное развитие во второй половине 2010-х гг. В ИПМ активизировались исследования SLM-технологии (этому

в значительной мере способствовало приобретение SLM-3D-принтера ProX DMP 300); в Белорусском национальном техническом университете – SLS-технологии; в Физико-техническом институте – EBM-технологии (Electron beam melting); в Гродненском филиале ИТМО – FDM-технологии (Fused Deposition Modeling); в Белорусском государственном университете и Институте физиологии – технологии 3D-биопечати.

В последние годы в нескольких университетах, наряду с исследованиями аддитивных технологий, ведется подготовка специалистов по этим технологиям.

Важным показателем уровня развития аддитивных технологий являются масштабы их освоения в промышленной сфере. В настоящее время имеется не один десяток белорусских производственных предприятий, которые применяют аддитивные технологии (в основном это SLA- и FDM-технологии, используемые для целей быстрого прототипирования). Среди них следует отметить компанию по производству бытовой техники «Атлант», которая активно осуществляет 3D-печать изделий из пластика, начиная с 1993 г.

В последние годы в Беларуси наблюдается рост количества малых фирм, специализирующихся в области аддитивных технологий. Они в основном занимаются продажей зарубежных 3D-принтеров и оказанием услуг по 3D-печати. Некоторые из них делают первые шаги в разработке и производстве собственных 3D-принтеров. Особого внимания заслуживает многолетний опыт работы фирмы «МСП Технолоджи Центр», которая была создана в 1993 г. в Минске при поддержке компаний SLM Solutions GmbH и 3D Systems и занимается изготовлением прототипов, оснастки, небольших серий пластмассовых и металлических деталей.

Исследования и разработки в области аддитивных технологий в Беларуси, начавшиеся 40 лет тому назад, продолжают до сих пор. Как отмечалось выше, первой из таких технологий, возникших в Беларуси, стала разновидность SL-технологии, основанная на получении изделий из листовых неметаллических материалов типа картона, шпона, пластика. В последние годы в БГАТУ эта технология получила развитие в новом варианте – на основе использования

листовых металлов. Она применяется для изготовления металлических деталей машин, технологической формообразующей оснастки [18, 19].

Несмотря на долгий путь своего развития, аддитивные технологии в Беларуси сегодня все еще не нашли широкого распространения ни в промышленной, ни в социальной сфере. По масштабам их применения наша страна существенно отстает от ведущих индустриальных стран мира. Одним из путей активизации развития аддитивных технологий является объединение усилий деятельности научных и учебных центров, различных предприятий и организаций, в том числе малого бизнеса, в разработке и практическом освоении этих технологий.

Примером успешного разностороннего применения аддитивных технологий является деятельность ВГТУ, где эти технологии, впервые зародившись много лет назад, продолжают развиваться и в настоящее время. В университете

ведется подготовка студентов по специальности «Производство изделий на основе трехмерных технологий», в рамках которой изучается техника 3D-печати; создана учебно-научно-производственная лаборатория аддитивных технологий, оснащенная разными типами 3D-принтеров, которая не только обеспечивает учебный процесс по новой специальности, но также проводит исследования в области аддитивных технологий, осуществляет 3D-печать изделий по заказам предприятий. Важно отметить, что в университете студенты других специальностей также изучают аддитивные технологии – в рамках соответствующих учебных дисциплин, кроме того, открыты курсы по 3D-моделированию и 3D-печати для детей. Такая целенаправленная подготовка будущих специалистов аддитивных технологий является, несомненно, залогом успешного развития этих технологий в будущем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рыцев, С. Б. (2004), *Разработка и исследование системы компактного интеллектуального производства деталей летательных аппаратов на базе скоростной технологии контурного послойного синтеза*, дис. ... канд. техн. наук: 05.07.02, Москва, 139 с.
2. Горюшкин, В. И. (1984), *Основы гибкого производства деталей машин и приборов*, Минск, Наука и техника, 222 с.
3. Свирский, Д. Н. (1994), *Технологическое обеспечение компактной производственной системы для послойного синтеза деталей из фотополимеров*, автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.11.14, Москва, МАИ, 15 с.
4. Толочко, Н. К., Соболенко, Н. В., Мозжаров, С. Е., Ядройцев, И. А., Горюшкин, В. И., Дубовец, В. С. (1995), *Лазерное селективное послойное спекание порошков: проблемы и перспективы*, *Порошковая металлургия*, 1995,

REFERENCES

1. Rytsev, S. B. (2004), *Razrabotka i issledovanie kompaktnogo intellektualnogo proizvodstva detalei letatelnyh apparatov na baze skorostnoi tehnologii konturnogo posloynogo sinteza*, dis. ... kand. tehn. nauk: 05.07.02 [Development and research of a system for compact intelligent production of aircraft parts based on high-speed technology of contour layer-by-layer synthesis, thesis. ... cand. techn. sci.: 05.07.02], Moscow, 139 pp. ,
2. Goryushkin, V. I. (1984), *Osnovy gibkogo proizvodstva detalei mashin i priborov* [Fundamentals of flexible production of machine parts and devices], Minsk, Science and Technology, 222 p.
3. Svirsky, D. N. (1994), *Tekhnologicheskoye obespecheniye kompaktnoy proizvodstvennoy sistemy dlya posloynogo sinteza detaley iz fotopolimerov*, avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.11.14 [Technological support of a compact production system for layer-by-layer synthesis of parts from photopolymers, abstract of the thesis. dis. cand.

№ 3/4, С. 32–37.

5. Толочко, Н. К., Соболенко, Н. В., Мозжаров, С. Е., Ядройцев, И. А., Горюшкин, В. И., Дубовец, В. С. (1995), Технология послойного синтеза – новый метод формообразования порошковых изделий, *Вестник машиностроения*, 1995, № 4, С. 22–25.
6. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Sobolenko, N. V. (1995), Main relationships Governing Laser Sintering of Loos Single-Component Metallic Powders, *J. Adv. Mater.*, 1995, № 2, pp. 151–157.
7. Tolochko, N. K., Laoui, T., Khlopkov, Yu. V., Mozzharov, S. E., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2000), Absorptance of Powder Materials Suitable for Laser Sintering, *Rapid Prototyping J.*, 2000, V. 6, № 3, pp. 155–160.
8. Tolochko, N. K., Arshinov, M. K., Gusarov, A. V., Titov, V. I., Laoui, T., Froyen, L. (2003), Mechanisms of selective laser sintering and heat transfer in Ti powder, *Rapid Prototyping J.*, 2003, V. 9, № 5, pp. 314–326.
9. Tolochko, N., Mozzharov, S., Laoui, T., Froyen, L. (2003), Selective laser sintering of single- and two-component metal powders, *Rapid Prototyping J.*, 2003, Vol. 9, № 2, pp. 68–78.
10. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Yadroitsev, I. A., Laoui, T., Froyen, L., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2004), Balling Processes during Selective Laser Treatment of Powders, *Rapid Prototyping J.*, 2004, Vol. 10, № 2, pp. 78–87.
11. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Yadroitsev, I. A., Laoui, T., Froyen, L., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2004), Selective Laser Sintering and Cladding of Single-Component Metal Powders, *Rapid Prototyping J.*, 2004, Vol. 10, № 2, pp. 88–97.
12. Tolochko, N. K., Savich, V. V., Laoui, T., Froyen, L., Onofrio, G., Signorelli, E., Titov, V. I. (2002), Dental root implants produced by the combined selective laser sintering/melting of titanium tech. Sciences: 05.11.14, Moscow, MAI, 15 p.
4. Tolochko, N. K., Sobolenko, N. V., Mozzharov, S. Ye., Yadroytsev, I. A., Goryushkin, V. I., Dubovets, V. S. (1995), Laser selective layer-by-layer sintering of powders: problems and prospects [Lazernoye selektivnoye posloynoye spekaniye poroshkov: problemyi perspektivy], *Poroshkovaya metallurgiya – Powder Metallurgy*, 1995, № 3/4, pp. 32–37.
5. Tolochko, N. K., Sobolenko, N. V., Mozzharov, S. Ye., Yadroytsev, I. A., Goryushkin, V. I., Dubovets, V. S. (1995), Layer-by-layer synthesis technology – a new method for shaping powder products [Tekhnologiya posloynogo sinteza – novyy metod formoobrazovaniya poroshkovykh izdeliy], *Vestnik mashinostroyeniya – Vestnik of Mechanical Engineering*, 1995, № 4, pp. 22–25.
6. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Sobolenko, N. V. (1995), Main relationships Governing Laser Sintering of Loos Single-Component Metallic Powders, *J. Adv. Mater.*, 1995, № 2, pp. 151–157.
7. Tolochko, N. K., Laoui, T., Khlopkov, Yu. V., Mozzharov, S. E., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2000), Absorptance of Powder Materials Suitable for Laser Sintering, *Rapid Prototyping J.*, 2000, V. 6, № 3, pp. 155–160.
8. Tolochko, N. K., Arshinov, M. K., Gusarov, A. V., Titov, V. I., Laoui, T., Froyen, L. (2003), Mechanisms of selective laser sintering and heat transfer in Ti powder, *Rapid Prototyping J.*, 2003, V. 9, № 5, pp. 314–326.
9. Tolochko, N., Mozzharov, S., Laoui, T., Froyen, L. (2003), Selective laser sintering of single- and two-component metal powders, *Rapid Prototyping J.*, 2003, Vol. 9, № 2, pp. 68–78.
10. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Yadroitsev, I. A., Laoui, T., Froyen, L., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2004), Balling Processes during Selective Laser Treatment of Powders, *Rapid Prototyping J.*, 2004, Vol. 10, № 2, pp. 78–87.

- powders, Proc. Ins. Mech. Eng., Part L: *J. Mater. Design and Appl.*, 2002, V. 216, P. 267–270.
13. Толочко, Н. К., Соболенко, Н. В., Сычев, И. Ю., Горюшкин, В. И., Дубовец, В. С., Свирский, Д. Н. (1995), Устройство для изготовления трехмерных изделий из порошковых материалов, *Пат. 2048272 РФ*, МПК 6В22F5/00, С04В35/00/ заявл. 28.09.1992; опублик. 20.11.1995. Бюл. № 32.
 14. Laoui, T., Tolochko, N. K., Artushkevich, A. S., Froyen L. (2004), Bone osseointegration tests performed on titanium dental root implants made 171by laser processing, *Int. J. Product Development*, 2004, Vol. 1, № 2, p. 165.
 15. Толочко, Н. А., Лучина, В. Г., Сычев, И. Ю. (1994), Спектральные и кинетические исследования фотополимеризации жидких олигомерных композиций, *Журнал прикладной спектроскопии*, 1994, Т. 61, № 3-4, С. 274–277.
 16. Толочко, Н. К., Хлопков, Ю. В., Спиридонов, Э. П., Линевич, А. В. (2000), Материалы и источники излучения для стереолитографии (обзор), *Материалы, технологии, инструменты*, 2000, № 3, С. 35–38.
 17. Горюшкин, В. И., Дубовец, В. С., Лучина, В. Г., Сычев, И. Ю., Толочко, Н. К., Хлопков, Ю. В. (1993), Источник модулированного излучения, *Пат. 2106966 РФ*, МПК 6В29С35/08, С08J3/28/; заявл. 23.02.1993; опублик. 20.03.1998. Бюл. № 8.
 18. Толочко, Н. К., Авраменко, П. В., Кравцов, В. Б., Копчик, Д. И. (2022), Проблема ступенчатого рельефа при изготовлении шестерен по аддитивной технологии листового ламинирования, *Агропанорама*, 2022, № 1, С. 2–7.
 19. Толочко, Н. К., Романюк, Н. Н., Сокол, О. В. Штамп для листовой штамповки, *Пат. ВУ 23392*, Опублик. 28.02.2021.
 11. Tolochko, N. K., Mozzharov, S. E., Yadroitsev, I. A., Laoui, T., Froyen, L., Titov, V. I., Ignatiev, M. B. (2004), Selective Laser Sintering and Cladding of Single-Component Metal Powders, *Rapid Prototyping J.*, 2004, Vol. 10, № 2, pp. 88–97.
 12. Tolochko, N. K., Savich, V. V., Laoui, T., Froyen, L., Onofrio, G., Signorelli, E., Titov, V. I. (2002), Dental root implants produced by the combined selective laser sintering/melting of titanium powders, Proc. Ins. Mech. Eng., Part L: *J. Mater. Design and Appl.*, 2002, V. 216, P. 267–270.
 13. Tolochko, N. K., Sobolenko, N. V., Sychev, I. Yu., Goryushkin, V. I., Dubovets, V. S., Svirskiy, D. N. (1995), Ustroystvo dlya izgotovleniya trekhmernykh izdeliy iz poroshkovykh materialov [A device for the manufacture of three-dimensional products from powder materials], *Pat. 2048272 RF*, МПК 6В22F5/00, С04В35/00/ заявл. 28.09.1992; опублик. 20.11.1995. Бюл. № 32.
 14. Laoui, T., Tolochko, N. K., Artushkevich, A. S., Froyen L. (2004), Bone osseointegration tests performed on titanium dental root implants made 171by laser processing, *Int. J. Product Development*, 2004, Vol. 1, № 2, pp. 165.
 15. Tolochko, N. A., Luchina, V. G., Sychev, I. Yu. (1994), Spectral and kinetic studies of photopolymerization of liquid oligomeric compositions [Spektral'nyye i kineticheskiye issledovaniya fotopolimerizatsii zhidkikh oligomernykh kompozitsiy], *Zhurnal prikladnoy spektroskopii – Journal of Applied Spectroscopy*, 1994, Vol. 61, № 3-4, pp. 274–277.
 16. Tolochko, N. K., Khlopkov, Yu. V., Spiridonov, E. P., Linevich, A. V. (2000), Materials and radiation sources for stereolithography (review) [Materialy i istochniki izlucheniya dlya stereolitografii (obzor)], *Materialy, tekhnologii, instrumenty – Materials, technologies, tools*, 2000, № 3, pp. 35–38.

17. Goryushkin, V. I., Dubovets, V. S., Luchina, V. G., Sychev, I. Yu., Tolochko, N. K., Khlopkov, Yu. V. (1993), *Istochnik modulirovannogo izlucheniya* [Source of modulated radiation], *Pat. 2106966 RF*, MPK 6V29S35/08, S08J3/28/; *zayavl. 23.02.1993; opubl. 20.03.1998. Byul. № 8.*
18. Tolochko, N. K., Avramenko, P. V., Kravtsov, V. B., Kopchik, D. I. (2022), The problem of stepped relief in the manufacture of gears using the additive technology of sheet lamination [Problema stupenchatogo rel'yefa pri izgotovlenii shesterev po additivnoy tekhnologii listovogo laminirovaniy], *Agropanorama – Agropanorama*, 2022, № 1, pp. 2–7.
19. Tolochko, N. K., Romanyuk, N. N., Sokol, O. V. *Shtamp dlya listvoy shtampovki* [Sheet punching die], *Pat. BY 23392*, *Opubl. 28.02.2021.*

Статья поступила в редакцию 27.06.2022 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеева Елена Анатольевна	– магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Менеджмент», Витебский государственный технологический университет
Андреева Елена Георгиевна	– доктор технических наук, профессор кафедры «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий», Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
Будкуте Ирина Александровна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Химическая технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Ванкевич Елена Васильевна	– доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе, Витебский государственный технологический университет
Веретенникова Елена Сергеевна	– магистр экономических наук, ассистент кафедры «Учет, финансы, логистика и менеджмент», Полоцкий государственный университет им. Ефросинии Полоцкой
Городнякова Ирина Сергеевна	– магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Химическая технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Гусева Марина Анатольевна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Художественное моделирование, конструирование и технология швейных изделий», Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
Демидова Мария Александровна	– аспирант кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Довыденкова Вера Петровна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет
Дубровская Ольга Александровна	– магистр технических наук, инженер-программист кафедры «Информационные технологии», Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

Ивашко Екатерина Игоревна	– магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», заместитель начальника отдела «Испытательный центр», Витебский государственный технологический университет
Карелина Ирина Васильевна	– инженер-технолог, Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат»
Касаева Тамара Васильевна	– кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Качанов Игорь Владимирович	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», Белорусский национальный технический университет
Ковалевич Виталий Сергеевич	– инженер-конструктор 2 категории, ОАО «Белсудопроект»
Колокольчикова Алина Сергеевна	– магистрант, Витебский государственный технологический университет
Кондратьева Вероника Дмитриевна	– студент, Витебский государственный технологический университет
Ленько Ксения Александровна	– аспирант, Витебский государственный технологический университет
Лисовский Дмитрий Леонидович	– аспирант, Витебский государственный технологический университет
Марущак Юлия Игоревна	– магистрант, Витебский государственный технологический университет
Немкина Полина Олеговна	– магистрант, Витебский государственный технологический университет
Николаева Юлия Николаевна	– старший преподаватель кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Огородников Валерий Анатольевич	– кандидат химических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий

Ольшанский Валерий Иосифович	– кандидат технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика и теплотехника», Витебский государственный технологический университет
Панкевич Дарья Константиновна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Петрова Анастасия Вячеславовна	– ассистент кафедры «Финансы и коммерческая деятельность», Витебский государственный технологический университет
Пчелова Наталья Владимировна	– старший преподаватель кафедры «Химическая технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Рогожина Юлия Владимировна	– аспирант, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
Рыклин Дмитрий Борисович	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Скакалова Анна Сергеевна	– выпускник, Витебский государственный технологический университет
Слонимская Марина Андреевна	– доктор экономических наук, профессор кафедры «Учет, финансы, логистика и менеджмент», Полоцкий государственный университет им. Ефросинии Полоцкой
Советникова Ольга Петровна	– кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Финансы и коммерческая деятельность», Витебский государственный технологический университет
Толочко Николай Константинович	– доктор физико-математических наук, профессор, Белорусский государственный аграрный технический университет
Томашева Рита Николаевна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет
Филипчик Алексей Вячеславович	– кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Повышение квалификации» филиала «Институт переподготовки и повышения квалификации» ГУО «Университет гражданской защиты МЧС Беларуси»

Халецкая Валерия Олеговна	– выпускник, Витебский государственный технологический университет
Чикунская Вера Михайловна	– аспирант, магистр, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Шаталов Игорь Михайлович	– старший преподаватель кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», Белорусский национальный технический университет
Шевринова Лилия Николаевна	– кандидат технических наук, доцент, начальник испытательного центра, Витебский государственный технологический университет
Шевцова Марина Вячеславовна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Шеремет Елена Анатольевна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Шерстнева Ольга Михайловна	– старший преподаватель кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Щербина Леонид Александрович	– кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химическая технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий
Ясинская Наталья Николаевна	– доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Яшева Галина Артемовна	– доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Ящук Анна Иосифовна	– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Евразийские исследования», Белорусский государственный университет

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aliakseyeva Alena	– Master of Economics, Senior Lecturer at the Department “Management”, Vitebsk State Technological University
Alshanski Valery	– Candidate of Sciences (in Engineering), Professor at the Department “Thermal Power Engineering and Heat Engineering”, Vitebsk State Technological University
Andreeva Elena	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department “Artistic Modeling, Design and Technology of Garments”, the Kosygin State University of Russia
Budkute Iryna	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Chemical Technology of High-Molecular Compounds”, Belarussian State University of Food and Chemical Technologies
Chykunskaya Vera	– Master of Technical Sciences, Postgraduate Student at the Department “Chemical Technology of High-Molecular Compounds”, Belarussian State University of Food and Chemical Technologies
Davydzenkava Vera	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Design and Technology of Clothing and Footwear”, Vitebsk State Technological University
Demidova Maria	– Postgraduate Student at the Department “Textile Technology”, Vitebsk State Technological University
Dubrouskaya Volha	– Master of Technical Sciences, Software Engineer at the Department “Information Technology”, Vitebsk State Order of Peoples’ Friendship Medical University
Filipchik Aleksej	– Professor at the Department of Advanced Studies, Institute for Retraining and Advanced Training, University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus
Guseva Marina	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Artistic Modeling, Design and Technology of Garments”, the Kosygin State University of Russia
Haradniakova Iryna	– Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department “Chemical Technology of High-Molecular Compounds”, Belarussian State University of Food and Chemical Technologies

Ivashko Katsiaryna	– Master of Technical Sciences, Postgraduate Student at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Deputy Head of the “Test Center” Department, Vitebsk State Technological University
Kachanov Igor	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Hydrotechnical and Energy Construction, Water Transport and Hydraulics”, Belarusian National Technical University
Karelina Iryna	– Engineer-Technologist, Unitary Production Enterprise “Vitebsk Fur Combine”
Kasayeva Tamara	– Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department “Economics”, Vitebsk State Technological University
Khaletskaya Valeriya	– Graduate Student, Vitebsk State Technological University
Kolokolchikova Alina	– Undergraduate Student, Vitebsk State Technological University
Kondratieva Veronika	– Student, Vitebsk State Technological University
Kovalevich Vitalij	– 2nd Category Design Engineer, JSC Belsudoproekt
Lenko Ksenia	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Lisouski Dmitry	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Maruschak Yulia	– Undergraduate Student, Vitebsk State Technological University
Nemkina Polina	– Undergraduate Student, Vitebsk State Technological University
Nikolaeva Yuliya	– Senior Lecturer at the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Ogorodnikov Valery	– Candidate of Sciences (in Chemistry), Associate Professor, Chair of the Department “Chemistry”, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
Pankevich Darya	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University

Pchelova Natallia	– Senior Lecturer at the Department “Chemical Technology of High Molecular Compounds”, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
Petrova Anastasiya	– Assistant at the Department “Finance and Commercial Activity”, Vitebsk State Technological University
Rogozhina Yuliya	– Postgraduate Student, the Kosygin State University of Russia
Ryklin Dzmitry	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Textile Technology”, Vitebsk State Technological University
Shatalov Igor	– Senior Lecturer at the Department “Hydrotechnical and Energy Construction, Water Transport and Hydraulics”, Belarusian National Technical University
Shcherbina Leonid	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department “Chemical Technology of High-Molecular Compounds”, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
Sheremet Elena	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Sherstneva Olga	– Senior Lecturer at the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Sheverinova Liliya	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Test Center Manager, Vitebsk State Technological University
Shevtsova Marina	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Skakalova Anna	– Graduate Student, Vitebsk State Technological University
Slonimska Marina	– Doctor of Science (in Economics), Professor at the Department “Accounting, Finance, Logistics and Management”, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk
Sovetnikova Olga	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department “Finance and Commercial Activity”, Vitebsk State Technological University

Tolochko Nikolay	– Doctor of Sciences (in Physics and Mathematics), Professor, Belarusian State Agrarian Technical University
Tomasheva Rita	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Design and Technology of Clothing and Footwear”, Vitebsk State Technological University
Vankevich Alena	– Doctor of Science (in Economics), Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Vitebsk State Technological University
Veratsennikava Alena	– Master of Economics, Assistant at the Department “Accounting, Finance, Logistics and Management”, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk
Yashchuk Anna	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor at the Department “Eurasian Studies”, Belarusian State University
Yasheva Galina	– Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Yasinskaya Natalia	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University

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

1. Научно-технический журнал «Вестник Витебского государственного технологического университета» выходит два раза в год. К печати допускаются статьи по трем тематическим направлениям:

- технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения;
- химическая технология и экология;
- экономика.

2. Рукописи, направляемые в журнал, должны являться оригинальным материалом, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

3. К рукописи статьи необходимо приложить следующие материалы:

- заявку с названием статьи, тематическим направлением (из п. 1), к которому она подается, списком авторов и их личными подписями. В заявке необходимо указать согласие авторов на размещение полного текста статьи на сайтах журнала «Вестник ВГТУ» (<http://vestnik.vstu.by/rus/>) и Научной электронной библиотеки (<http://elibrary.ru/>). В случае выполнения исследований в рамках финансируемых проектов или грантов необходимо указать источник финансирования;

- реферат на языке оригинала объемом 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), название статьи и ключевые слова – 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, идентификационный номер ORCID, если они имеются) – на русском и английском языках. Требуется также указывать транслитерированное (с использованием букв латинского алфавита) название места работы автора, которое можно получить, воспользовавшись бесплатной программой транслитерации русского языка в латиницу на сайте <http://www.translit.ru/>;

- электронный вариант всех материалов, кроме сопроводительного письма (выписки из протокола заседания кафедры) и экспертного заключения.

4. Структура принимаемых к опубликованию статей следующая: индекс УДК; название статьи; фамилии и инициалы авторов; текст статьи; список использованных источников.

5. В тексте статьи должны быть последовательно отражены: состояние проблемы до начала ее изучения авторами; цель представленной работы и задачи, которые были решены для ее достижения; методика проведенных исследований; анализ полученных результатов, их научная новизна и практическая ценность; выводы. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. В выводах должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения. При необходимости должны быть также указаны границы применимости полученных результатов.

6. Список использованных источников оформляется отдельно в конце статьи; ссылки на публикации должны быть вставлены в текст в виде номера публикации в списке, заключенного в квадратные скобки. Ссылки на неопубликованные работы (диссертации, отчеты, депонированные рукописи) не допускаются. В библиографическом описании источника указываются фамилии и инициалы всех авторов, год издания (в круглых скобках), название источника (для статей – название журнала курсивом), номера страниц. Каждый источник должен иметь автора. Если упоминается сборник под редакцией, то в качестве автора указывается первый из ре-

дакторов. Если работа выполнена коллективом организации и конкретные авторы не указаны, в качестве автора указывается организация.

Если использованный источник опубликован не на английском языке, его библиографическое описание необходимо привести на языке оригинала и дополнить переводом на английский язык и транслитерацией всей указываемой в описании информации.

Примеры перевода и транслитерации библиографического описания (оформление соответствует требованиям, описанным выше для русскоязычного описания) приведены в таблицах.

Характеристика источника	Рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system)
Книга	Nenashev, M. F. (1993), <i>Poslednee pravitelstvo SSSR</i> [Last government of the USSR], Moscow, Krom Publ., 221 p. Kanevskaya, R. D. (2002), <i>Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov</i> [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development], Izhevsk, 140 p.
Статья из журнала	Zagurenko, A. G., Korotovskikh, V. A., Kolesnikov, A. A., Timonov, A. V., Kardymon, D. V. (2008), Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta], <i>Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry</i> , 2008, № 11, pp. 54–57.
Статья из электронного журнала	Swaminathan, V., Lepkoswka-White, E., Rao, B. R. (1999), Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange, <i>Journal of Computer-Mediated Communication</i> , Vol. 5, № 2, available at: www.ascusc.org/jcmc/vol5/issue2/ .
Материалы конференции	Usmanov, T. S., Gusmanov, A. A., Mullagalin, I. Z., Muhametshina, R. Ju., Svechnikov, A. V. (2007), Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing [Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta], New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact, <i>Proceedings of the 6th International Technological Symposium</i> , Moscow, 2007, pp. 267–272.
Электронные источники	APA Style (2011), available at: http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (accessed 5 February 2011). Pravila Tsicirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources], (2011), available at: http://www.scribd.com/doc/1034528/ (accessed 7 February 2011).

Характеристика источника	Рекомендации по оформлению русскоязычного библиографического описания
Книга	Ненашев, М. Ф. (1993), <i>Последнее правительство СССР</i> , Москва, Кром, 221 с. Каневская, Р. Д. (2002), <i>Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов</i> , Ижевск, 140 с.
Статья из журнала	Загуренко, А. Г., Коротовских, В. А., Колесников, А. А., Тимонов, А. В., Кардымон, Д. В. (2008), Техничко-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, <i>Нефтяное хозяйство</i> , 2008, № 11, С. 54–57.
Материалы конференции	Усманов, Т. С., Гусманов, А. А., Муллагалин, И. З., Мухаметшина, Р. Ю., Свечников, А. В. (2007), Особенности проектирования разработки месторождений с применением гидроразрыва пласта, Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи, <i>Труды 6-го Международного технологического симпозиума</i> , Москва, 2007, С. 267–272.

Также подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system) практически для всех видов публикаций даны на сайте <http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2>.

7. Список использованных источников должен включать ссылки на актуальные научные публикации по теме статьи. Не менее 50 % списка источников должны составлять ссылки на научные публикации, изданные в течение последних 10 лет. Излишнее самоцитирование не допускается. Количество ссылок на работы автора (соавторов) статьи не должно превышать 25 % от числа цитируемых научных публикаций.

8. Оформление статьи должно удовлетворять следующим требованиям:

- статьи подаются на русском, белорусском или английском языке;
- объем публикации должен составлять от 14 000 до 22 000 печатных знаков (4–10 страниц), набранных шрифтом Times New Roman 12, с полями по 20 мм на сторону и одинарным межстрочным интервалом;
- в файлах не должно быть макросов, колонтитулов и других сложных элементов форматирования;
- исключается автоматическая или ручная расстановка переносов;

- формулы набираются в прикладной программе Microsoft Equation 3.0, входящей в состав MS Office 2007, Times New Roman 12 полужирный курсив. Межстрочный интервал перед строкой формул составляет от 6 до 10 пт.;

- таблицы располагаются после первого упоминания в тексте. При этом они не должны дублировать сведения, отображенные на графиках. Заголовки таблиц располагаются по центру страницы. Табличные данные – по центру или выравниваются по левому краю. Шрифт – Times New Roman чёрный от 9 до 12 пт. Заливка не используется;

- иллюстрации располагаются после первого упоминания о них в тексте. Каждая иллюстрация должна иметь 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.

9. Авторы статей несут ответственность за достоверность приводимых в статье данных и результатов исследований.

10. Редакция не взимает плату за опубликование научных статей.

11. Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей, представленных лицами, осуществляющими послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство) в год завершения обучения.

12. 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.

13. Отклоненные редколлегией рукописи статей авторам не возвращаются. В случае возврата статьи автору на доработку датой представления считается день получения редакцией исправленной рукописи.

14. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения в тексте статьи, реферате и abstract, не искажающие основное содержание статьи.

15. Статьи представляются в редакцию по адресу: 210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72, Берашевич Ирине Васильевне. 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 (43)

Дизайн и вёрстка издания **Погорельская С.И.**

Редактор издания **Осипова Т.А.**

Дизайн обложки **Григорьева Н.В.**

Подписано в печать 20.12.2022. Печать цифровая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 31,4.
Уч.-изд. листов 27,7. Формат 60x90 ¹/₈. Тираж 100 экз. Заказ № 28.

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 – Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь»

220004, Республика Беларусь, г. Минск,
ул. Кальварийская, 17.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 733 от 30 июня 2000 г.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 1235 от 8 февраля 2010 г.