

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

VESTNIK

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

74940 – индивидуальная подписка

749402 – ведомственная подписка

SUBSCRIPTION INDEX

74940 – Individual Subscription

749402 – Corporate Subscription

выпуск № 1 (44)

issue № 1 (44)



ISSN 2079-7958 (print)
ISSN 2306-1774 (online)



2023

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 (44)

ВИТЕБСК 2023

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

VESTNIK

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 1 (44)

VITEBSK 2023

УДК 67/68

ББК 37.2

В 38

Редакционная коллегия:

Главный редактор – профессор Кузнецов А.А.

Зам. главного редактора – профессор Ванкевич Е.В.

Ответственный секретарь – профессор Рыклин Д.Б.

Вестник Витебского государственного
технологического университета. № 1 (44).
УО «ВГТУ»

Члены редакционной коллегии

Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

- редактор – проф. Буркин А.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- зам. редактора – проф., член-кор. НАН Беларуси Рубаник В.В. (ИТА НАН Беларуси)
- доц. Абрамович Н.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Башметов В.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- к.т.н. Гусаров А.М. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Джегора А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Дунина Е.Б. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Казарновская Г.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Киосев Й. (Дрезденский технический университет, Германия)
- проф. Кирсанова Е.А. (Открытый институт РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Коган А.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Корнилова Н.Л. (ИвГПУ, Российская Федерация)
- проф. Милашиус Р. (Каунасский технологический университет, Литва)
- проф. Ольшанский В.И. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Панкевич Д.К. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Разумеев К.Э. (Текстильный институт РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Садовский В.В. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- проф. Ташпулатов С.Ш. (Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)
- проф. Шустов Ю.С. (Текстильный институт РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)

Химическая технология

- 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. (КНУТД, Украина)
- проф. Дормешкин О.Б. (БГТУ, Республика Беларусь)
- нс Дутчик В. (Институт по исследованию полимеров, Германия)
- проф. Корниенко А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Скобова Н.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Стёпин С.Г. (ВГМУ, Республика Беларусь)
- доц. Труханов А.В. (ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», Республика Беларусь)
- проф. Шут В.Н. (ВГТУ, 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, ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Быков А.А. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- доц. Вайлунова Ю.Г. (ВГТУ, 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. Меньшиков В.В. (Даугавпилсский университет, Латвия)
- проф. Нехорошева Л.Н. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- доц. Плахин А.Е. (УрГЭУ, Российская Федерация)
- доц. Советникова О.П. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Шматко А.Д. (Институт проблем региональной экономики Российской академии наук, Российская Федерация)

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), Index Copernicus International (ICI), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), 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», 2023

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 of Materials and Products of Textile Industry and Consumer Goods Industry

- *Prof. Burkin A.N., Editor (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Corresponding Member of Belarus NAS, Prof. Rubanik V.V., Deputy Editor (Institute of Technical Acoustics of Belarus NAS)*
- *Assoc. Prof. Abramovich N.A. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Prof. Bashmetau V.S. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Cand. Sc. (Eng) Husarau A.M. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Jezhora A.A. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Dunina E.B. (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)*
- *Assoc. Prof. Kornilova N.L. (Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation)*
- *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. Razumeev K.E. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)*
- *Prof. Sadovsky V.V. (BSEU, Republic of Belarus)*
- *Prof. Tashpulatov S.S. (Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan)*
- *Prof. Shustov Yu.S. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)*

Chemical Engineering

- *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)*
- *Prof. Dormeshkin O.B. (BSTU, Republic of Belarus)*
- *Dutschik V., Researcher (The Institute of Polymer Research, Dresden, Germany)*
- *Prof. Kornienko A.A. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Skobova N.V. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Stepin S.G. (VSMU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Trukhanov A.V. (State Scientific and Production Association "Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences of Belarus", Republic of Belarus)*
- *Prof. Shut V.N. (VSTU, 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)*
- *Assoc. Prof. Vailunova Yu.G. (VSTU, 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. Menshikov V.V. (Daugavpils University, Latvia)*
- *Prof. Nekhorosheva L.N. (BSEU, Republic of Belarus)*
- *Assoc. Prof. Plakhin A.E. (Ural State Economic University, Russian Federation)*
- *Assoc. Prof. Sovetnikova O.P. (VSTU, Republic of Belarus)*
- *Prof. Shmatko A.D. (Institute for Regional Economic Studies RAS, Russian Federation)*

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, Index Copernicus International (ICI), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), 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 материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

Леденева И.Н.

Формоустойчивость пакетов материалов верха для войлочной затяжной обуви 9

Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н., Кузнецов А.А.

Биохимическая технология получения котонизированного льняного волокна с использованием ферментных композиций на основе пектиназ..... 18

Садовский В.В., Базыльчук Т.А.

Влияние режимных параметров операции отделки «Сушка-термофиксация» на релаксационные процессы и воздухопроницаемость полшерстяных камвольных тканей костюмного назначения 26

Сафонов П.Е., Левакова Н.М.

Выбор рациональной структуры и изучение радиотехнических характеристик тканей для защиты от электромагнитного излучения..... 36

Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Воробьева А.С.

Исследование влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных структур для функциональной одежды 49

Туманов В.С., Кузнецов А.А., Мурычева В.В.

Исследование влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственных кож 59

Черников И.И., Ржеусский С.Э., Рыклин Д.Б.

Разработка двухслойного нановолокнистого материала с частицами серебра..... 67

Химическая технология

Гречаников А.В., Ковчур А.С., Манак П.И., Тимонов И.А.

Использование комплексной добавки из отходов торфа и осадков химической водоподготовки ТЭЦ при изготовлении керамического кирпича 77

Ермалович К.О., Буркин А.Н., Тарутько К.И., Грошев И.М., Дойлин Ю.В.

Свойства волокнисто-наполненных полимерных композитов типа кожволон 90

Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н., Скобова Н.В., Сергеев В.Ю.

Зависимость физико-механических свойств экокож от условий формирования полимерного покрытия 102

Штепа В.Н., Дунай В.И., Киреев С.Ю., Шикунец А.Б., Козырь А.В.

Схема комбинированной очистки сточных вод текстильных производств с использованием АОРs-технологий 114

Экономика

Бондаренко Н.Н.

Особенности инвестирования экономики Беларуси под влиянием внешних шоков..... 125

Тарасова Е.В.

Исследование инвестиционного потенциала Смоленской области и направления его повышения..... 139

Чжан Фэйлун

Анализ регионального развития в КНР с помощью инструментария пространственной автокорреляции 152

Юэлун Чжан

Зарубежный опыт проведения государственных аудитов и ответные меры Китая 161

Яшева Г.А., Вайлунова Ю.Г., Савосина А.А.

Повышение инвестиционной привлекательности и развитие кластеров в Республике Беларусь на основе концепции ESG..... 171

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 186

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 193

CONTENTS

Technology of Materials and Products of Textile Industry and Consumer Goods Industry

Ledeneva Irina

Shape Stability of Upper Shoe Material Packages for Felt Lasting Shoes.....9

Lisouski Dmitry, Yasinskaya Natallia, Kuznetsov Andrey

Biochemical Technology for Producing Cottonized Flax Fiber Using Enzyme Compositions Based on Pectinases..... 18

Sadovski Victor, Bazylchuk Tatsiana

Research of the Influence of the Finishing Operation "Drying-Thermofixation" on Relaxation Processes and Air Permeability of Half-Woolen Worsted Fabrics for Costume Purposes 26

Safonov Pavel, Levakova Natallia

Choosing a Rational Structure and Studying the Radio and Technical Characteristics of Fabrics for Protection from Electromagnetic Radiation 36

Skobova Natallia, Yasinskaya Natallia, Vorobyova Anna

Study of Moisture-Regulating Properties of Double-Layer Knitted Structures for Functional Clothing49

Tumanov Vladimir, Kuznetsov Andrey, Murycheva Victoria

Study of the Effect of the Scale Factor on the Strength Properties of Man-Made Leather59

Chernikau Ivan, Rzhessky Siarhei, Ryklin Dzmitry

Development of a Two-Layered Nanofibrous Material with Silver Particles.....67

Chemical Engineering

Hrachanikau Aliaksandr, Kauchur Andrei, Manak Pavel, Tsimanov Ivan

Application of Complex Additive from Peat Wastes and Sediments of Chemical Water Treatment of Thermal Power Plant in Production of Ceramic Bricks.....77

Ermalovich Karina, Burkin Alexander, Tarutko Konstantin, Groshev Ivan, Doylin Yuri

Properties of Fiber-Filled Polymer Composite Materials of Leatherette Type90

Maruschak Yulia, Yasinskaya Natallia, Skobova Natallia, Sergeev Vyacheslav

Dependence of the Physical and Mechanical Properties of Eco-Leather on the Conditions for the Formation of a Polymer Coating 102

Shtepa Vladimir, Dunai Valeriy, Kireev Sergey, Shikunets Aleksey, Kozyr Aleksey Scheme for Combined Wastewater Treatment of the Textile Productions Using AOPs-Technologies	114
--	-----

Economics

Bandarenka Natallia Features of Investment Activity of Belarus under the Influence of External Shocks	125
Tarasova Elena Study of the Investment Potential of the Smolensk Region and the Directions of its Increase	139
Zhang Feilong Analysis of Regional Development in China with the Tools of Spatial Autocorrelation	152
Yuelong Zhang Foreign Experiences of Government Audits and China's Response.....	161
Yasheva Galina, Vailunova Yulia, Savosina Angelina Improving Investment Attractiveness and Developing Clusters in the Republic of Belarus Based on the ESG Concept.....	171

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	186
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY».....	193

ФОРМОУСТОЙЧИВОСТЬ ПАКЕТОВ МАТЕРИАЛОВ ВЕРХА ДЛЯ ВОЙЛОЧНОЙ ЗАТЯЖНОЙ ОБУВИ

SHAPE STABILITY OF UPPER SHOE MATERIAL PACKAGES FOR FELT LASTING SHOES

УДК 685.31

И.Н. Леденева*

Российский государственный университет
им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-9-17>

I. Ledeneva*

Russian State University named after A.N. Kosygin
(Technology. Design. Art)

РЕФЕРАТ

*ВОЛОКНИСТЫЙ СОСТАВ, ВОЙЛОК, ОБУВЬ,
ХАОТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА, ПОДКЛАДКА*

Объектом исследования данной работы являются материалы валяльно-войлочные и используемые для подкладки обуви: кожа, искусственный мех, байка, ткани с мембранным покрытием.

Предметом исследования являются физико-механические свойства войлоков для верха обуви и пакетов материалов.

Основная цель работы заключается в изучении влияния волокнистого состава войлока и типа подкладки на свойства пакетов верха обуви из материалов с хаотической структурой. В процессе исследования было оценено влияние подкладки на формоустойчивость верха обуви из тонких войлоков. Также был проведен анализ полученных результатов, который позволил сделать выводы о целесообразности применения альтернативного технического тонкошерстного войлока в производстве обуви. В ходе исследования было установлено влияние подкладочных материалов, изготовленных из войлока разного волокнистого состава, на формуемость, формоустойчивость и технологические параметры выполнения обтяжно-затяжных операций верха обуви. Это позволяет прогнозировать поведение обуви с верхом из войлоков на подкладке в зависимости от назначения и сроков эксплуатации.

ABSTRACT

*FIBER COMPOSITION, FELT, SHOES, CHAOTIC
STRUCTURE, LINING*

The object of the research is felt materials and those used for shoe lining: leather, faux fur, baize, fabrics with a membrane coating.

The subject of the study is the physical and mechanical properties of felts for the shoe upper and material packages.

The main goal of the work is to study the effect of the fibrous composition of the felt and the type of lining on the properties of the shoe upper packages made of materials with a chaotic structure. In the course of the study, the influence of the lining on the shape stability of the shoe upper made of thin felts was evaluated. The analysis of the results was also carried out, which made it possible to draw conclusions about the feasibility of using an alternative technical fine-wool felt in the production of shoes. In the course of the study, the influence of lining materials made from felt of different fibrous composition on the formability, dimensional stability; technological parameters for performing tightening and lasting operations of the shoe upper were determined. This enables to predict the behavior of shoes with felt uppers on the lining, depending on the purpose and service life.

The purpose of the research is to ensure that, when developing a technology for manufacturing shoes from materials with an anisotropic chaotic

* E-mail: i.n.ledeneva@gmail.com (I. Ledeneva)

Результаты проведенных исследований будут использованы при разработке технологии изготовления обуви из материалов с анизотропной хаотической структурой, обеспечивая требования параметров адресного проектирования технологического процесса

structure, using digitalization, requirements of the parameters of the targeted design of the technological process are followed, considering the purpose of the shoe, the season and the conditions of its use. The results of this study are intended for use in the footwear industry.

Одной из целей промышленной политики Российской Федерации является формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной промышленности, обеспечивающей переход экономики государства от экспортно-сырьевого типа развития к инновационному, который, отнюдь не предполагает отказ от национальных традиций, в том числе в части удовлетворения всевозрастающих потребностей населения в модной, качественной и современной обуви. Одновременно с этим набирают обороты устойчивые технологии и осознанное потребление. Этим требованиям вполне отвечают валяльно-войлочные материалы, обладающие хаотической структурой, обеспечивающей комплекс уникальных гигиенических свойств обуви, способной сохранить здоровье потребителя. С учетом развития современной техники и технологий такая обувь может удовлетворить самых взыскательных потребителей не только бытовой, но и специальной войлочной обуви стратегического назначения. Проблема изготовления изделий из нетканых материалов анизотропной хаотической структуры волновала ученых в разное время в разной степени. Степень актуальности темы исследования зависела, в том числе от страны и региона.

Значительный вклад в изучение нетканых текстильных материалов, в том числе войлока, внесли зарубежные ученые такие, как Aksakal B. [1], Bao, M.; Lou, X.; Zhou, Q.; Dong, W.; Yuan, H.; Zhang, Y. [2], Mäkelä M.A., Laamanen T., C. Little, M. El-Sharif, M.J. Hephner, Bereck K. R. Среди российских ученых, которым принадлежит формирование современных представлений о проектировании структуры и оценке свойств текстильных материалов таких, как Г.Н. Кукин, Б.А. Бузов, А.П. Жихарев, В.Ю. Мишаков, Е.А. Кирсанова, К.Э. Разумеев и др. Ф.И. Кузьмичев, А.Н. Семенова, З.А. Мулюкина, А.М. Фатхуллина исследовали свойства валяной обуви, а О.Н. Рыбакова, А.С. Ол-

дырева, Д.Н. Симачев, Б.П. Зарицкий внесли свой вклад в исследование обуви с верхом из листового войлока. Немаловажное значение имеют форма, размеры, физико-механические свойства и взаимодействие структурных элементов. Определенные трудности представляет математическое и геометрическое моделирование нетканых полотен, что связано в основном с извитостью волокон и относительно хаотическим их расположением в материале.

Учитывая всевозрастающий спрос потребителей на войлочную обувь, а также необходимость повышения значимости России и продвижения национальных обувных материалов в условиях сложной геополитической обстановки, актуальность исследования свойств валяльно-войлочных материалов не оставляет сомнений.

Однако потребностям молодежи в красивой эстетичной и эксклюзивной обуви традиционные валенки не отвечают, поэтому изготовление модной, современной обуви может обеспечить современная технология производства ее из листового войлока затяжным способом на обувных колодках. Однако войлочная затяжная обувь не лишена определенных недостатков, например низкая формоустойчивость, особенно при применении войлока толщиной ниже 4 мм. С подобной проблемой столкнулись производители российской обувной компании АО «Егорьевская обувь», чья обувь из войлока пользуется заслуженной популярностью не только у детей, но и у взрослых. Одним из факторов, влияющих на формоустойчивость обуви, является хаотическая структура войлока, который может содержать различные виды волокон. Это делает его особенно непредсказуемым в использовании для создания обуви. В то же время, выбор правильной подкладки может значительно повлиять на конечный результат.

В настоящее время затяжная обувь изготавливается из войлока, в состав которого входит высококачественная мериносовая шерсть, поставляемая из Австралии.

Учитывая положение России в условиях санкций, а также Указ Президента Российской Федерации от 8 марта 2022 г. № 100 «О применении в целях обеспечения безопасности Российской Федерации специальных экономических мер в сфере внешнеэкономической деятельности», об импортозамещении, актуально исследовать свойства технического тонкошерстного войлока, близкого по составу обувному, но состоящего из овечьей шерсти отечественного производства. Но прямая замена обувного войлока альтернативным техническим невозможна вследствие его низкой формоустойчивости, поэтому необходимо искать пути решения данной проблемы.

Тематике исследования формоустойчивости обуви посвящены работы таких учёных, как Ю. П. Зыбин, В. А. Фукин, В. Е. Горбачик и др. Тем не менее, проблема формоустойчивости обуви актуальна и сегодня, так как, несмотря на существенные изменения в технологии производства обуви и применении современного оборудования, отечественное обувное производство не обладает данными о свойствах современных материалов и возможности замены традиционных [3].

Заготовка верха обуви из войлока, как и из других обувных материалов, может быть не только одно-, но и многослойной. Однако традиционные подкладочные материалы, повышая формоустойчивость, существенно снижают теплозащитные свойства, по показателям которых войлочная обувь не имеет аналогов для эксплуатации в холодный период.

Предложено дублирование войлочных деталей верха подкладкой при условии, что такой материал не будет снижать показатели теплозащитных свойств обуви. Целью данной научной работы является определение степени влияния волокнистого состава войлока и вида подкладки на свойства пакета материалов для верха обуви из материалов с хаотической структурой. Для достижения поставленной цели поставлены и решены следующие задачи: выбраны два вида войлока, волокнистый состав которых включает шерстяные волокна разного качества: обувной

(шерсть овечья натуральная тонкая – 50 %, меховые отходы и регенерированная шерсть – 50 %) ОСТ 17-531-75 (**B₁**) и технический (шерсть овечья натуральная мытая тонкая и полутонкая – 75 %, гребенные очесы и меховые отходы 25 %) ГОСТ 11025-78 (**B₂**) [5, 6]. Волокнистый состав войлока является ключевым фактором для свойств обуви, однако его эффект может быть существенно изменен за счет выбора подходящей подкладки. Для материалов подкладки обуви с верхом из войлока выбраны наиболее распространенные подкладочные обувные материалы, в том числе инновационные, с мембраной в структуре; выбраны стандартные методы исследования одноцикловых и полуцикловых свойств объектов исследования [4] с целью оценить влияние подкладки на физико-механические свойства обуви. В работе проанализированы полученные результаты и сделаны выводы о целесообразности применения альтернативного обувному технического тонкошерстного войлока. Оценено влияние подкладки на формоустойчивость обуви из тонких войлоков.

В работе исследованы войлоки и пакеты материалов заготовки верха обуви из войлока, дублированного подкладкой из кожи подкладочной ГОСТ 940-81, бязи с термопластичным слоем ГОСТ 19196-93, байки подкладочной ГОСТ 11696-76, искусственного меха тканепошивного подкладочного ОСТ 17-793-79, мембранных материалов Retor и On-Steam производства Moron (Германия). Материалы с мембранным покрытием в дальнейшем планируется заменить российскими аналогами. При выборе мембранных материалов руководствовались результатами ранее выполненных исследований [7–10]. Шифры исследованных однослойных материалов и пакетов представлены в таблице 1.

Ранее выполненные исследования позволяют выдвинуть гипотезу изменения технологических и эксплуатационных свойств войлока в зависимости от его структуры и типов шерстяных волокон, входящих в его состав. При производстве и эксплуатации обуви из войлоков разного состава из волокон шерсти, обладающих разной степенью извитости, длиной и другими характеристиками, она выдерживает растяжение, сжатие, различные режимы температурно-влажностного воздействия. Вследствие этого, возможно,

Таблица 1 – Шифры объектов исследования

Шифр объекта	Характеристика объекта
V ₁	Войлок обувной ОСТ 17-531–75 (Россия)
V ₂	Войлок технический ГОСТ 11075–78 (Россия)
Кожа	Кожа подкладочная ГОСТ 940-81 (Россия)
Бязь	Бязь с термопластичным слоем ГОСТ 19196-93 (Россия)
Байка	Байка подкладочная ГОСТ 11696-76 (Россия)
Мех	Искусственный мех ОСТ 17-793-79 (Россия)
Retor	Мембранный материал Retor (Moron, Германия)
On-Steam	Мембранный материал On-Steam (Moron, Германия)
V ₁ /кожа	Войлок обувной, дублированный кожей подкладочной
V ₁ /бязь	Войлок обувной, дублированный бязью с термопластичным слоем
V ₁ /байка	Войлок обувной, дублированный байкой подкладочной
V ₁ /мех	Войлок обувной, дублированный мехом искусственным
V ₁ /Retor	Войлок обувной, дублированный мембранным материалом Retor
V ₁ /On-Steam	Войлок обувной, дублированный мембранным материалом On-Steam
V ₂ /кожа	Войлок технический, дублированный кожей подкладочной
V ₂ /бязь	Войлок технический, дублированный бязью с термопластичным слоем
V ₂ /байка	Войлок технический, дублированный байкой подкладочной
V ₂ /мех	Войлок технический, дублированный мехом искусственным
V ₂ /Retor	Войлок технический, дублированный мембранным материалом Retor
V ₂ /On-Steam	Войлок технический, дублированный мембранным материалом On-Steam

происходит неравномерное неконтролируемое распрямление или набухание одних волокон, скручивание и усадка других, что и влияет на изменение физико-механических свойств материала, о чем свидетельствуют многочисленные исследования [11, 12].

В рамках исследований проведен эксперимент, связанный с воздействием разного количества влаги на войлок для прогнозирования поведения войлочной обуви при ее эксплуатации в условиях повышенной влажности и изменения показателей физико-механических свойств, а также для научно-обоснованного выбора технологических режимов формования заготовки верха обуви из войлока на обувной колодке. Увлажнение материалов и пакетов проводили аналогично увлажнению заготовок в технологическом процессе (в камере с водяным туманом и относительной влажностью ≈90 %) по изменению массы образцов (с точностью, до 0,1 г).

Следует отметить, что для исследуемых материалов не установлены нормативные показатели предела прочности в технической документации, но в зависимости от проведения обтяжно-затяжных процессов во избежание разрыва верха обуви, как правило, нормируется этот показатель в зависимости от вида кож от 1,0 до 1,8 **МПа** [4]. Величины максимального напряжения для исследованных войлоков (таблица 2) остаются в допустимых пределах, определенных в технической документации для натуральных кож.

Однако некоторое снижение показателей физико-механических свойств свидетельствует о необходимости ограничений условий эксплуатации. Исходя из результатов испытаний, рекомендуется эксплуатировать войлочную обувь затяжного метода производства в условиях сухой, морозной погоды. Непродолжительное время – не более 60 минут – допускается эксплуатация в условиях воздействия влаги воздуха [13].

Таблица 2 – Влияние воздействия влаги на физико-механические свойства войлока

Шифр войлока	Влажность войлока, %	Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Модуль упругости E_y , МПа	Остаточная деформация $\varepsilon_{ост}$, %	Пластичность Π , %
В ₁	6	5,68	10,42	10,00	40,00
	7	5,68	10,37	10,17	40,50
	10	5,63	10,34	10,23	41,52
	15	5,60	10,28	10,31	41,59
	20	5,15	10,23	10,47	42,16
	25	5,03	10,14	10,59	43,56
	30	4,90	10,02	10,67	43,80
В ₂	6	2,97	4,41	11,50	38,00
	7	2,97	4,39	11,52	40,02
	10	2,95	4,37	11,61	41,89
	15	2,92	4,37	11,64	42,53
	20	2,91	4,36	11,78	43,28
	25	2,91	4,33	11,85	44,77
	30	2,90	4,30	11,90	45,00

Далее исследовано влияние волокнистого состава войлока и вида подкладки на формоустойчивость пакетов материалов. Для проведения исследования использованы пакеты верха обуви, состоящие из двух слоев материалов размером 200х50 мм, склеенных полиизопреновым клеем. Затем исследовали однослойные войлоки и пакеты материалов, имитирующие заготовку верха обуви из войлока и подкладочных материалов: меха, байки, кожи, бязи, и мембранных материалов On-Steam и Retor. Оценивали полцикловые и одноцикловые характеристики при нормальных условиях (ГОСТ10681-75): температуре воздуха 20±2 °С и относительной влажности воздуха 65±2 %. В таблице 3 представлены результаты испытаний тонкошерстных войлоков для верха обуви и пакетов материалов. Анализ результатов исследования показывает, что дублирующий материал в значительной степени влияет на одноцикловые характеристики. Для всех пакетов материалов предел прочности при растяжении выше исходного войлока, что свидетельствует о положительном эффекте дублирования деталей верха обуви из войлока подкладкой. Разница в показателях свойств в среднем

находится в диапазоне от 10 до 50 %. Некоторые показатели не вполне ожидаемы, что можно объяснить анизотропной хаотической структурой валяльно-войлочных материалов.

Научная новизна проведенных исследований заключается в сравнительном анализе пакетов материалов для верха войлочной обуви при использовании различных по свойствам подкладок. Установлено влияние подкладочных материалов для верха обуви из войлока разного волокнистого состава на формуемость, формоустойчивость и технологические параметры выполнения обтяжно-затяжных операций. Это, в свою очередь, позволит прогнозировать поведение обуви с верхом из войлоков на подкладке в зависимости от установленных сроков эксплуатации и назначения обуви.

Практическая ценность результатов испытаний может быть определена следующим. Величины изменения модуля упругости объектов исследования будут учтены при установлении режимов технологического процесса формования заготовки верха обуви на колодке. Например, для обеспечения высокой формоустойчивости обуви из технического войлока В₂ необходимо

Таблица 3 – Влияние волокнистого состава войлока и вида подкладки на свойства обуви из материалов с хаотической структурой

Шифр	Предел прочности при растяжении σ_p , МПа	Модуль упругости E_y , МПа	Полная деформация $\varepsilon_{отн}$, %	Остаточная деформация $\varepsilon_{ост}$, %	Пластичность Π , %	Упругость $У$, %	Коэффициент поперечного сокращения μ
B_1	5,03	2,0	49	12	50,00	50,00	0,40
B_1 /бязь	5,00	2,5	45	19	48,60	41,40	0,21
B_1 /кожа	5,70	3,3	44	10	42,94	37,06	0,24
B_1 /байка	5,30	2,0	32	12	43,08	36,92	0,04
B_1 /мех	5,83	1,0	34	13	44,59	35,41	0,38
B_1 /Retor	6,50	1,0	30	15	40,00	30,00	0,28
B_1 /On-Steam	6,50	1,0	40	15	40,00	40,00	0,28
B_2	3,03	1,0	69	10	46,83	37,17	0,35
B_2 /бязь	3,80	2,0	48	19	42,70	47,80	0,48
B_2 /кожа	5,70	3,3	45	11	44,00	36,00	0,16
B_2 /байка	6,00	1,5	46	14	45,60	31,30	0,43
B_2 /мех	6,00	2,5	33	14	42,56	37,44	0,46
B_2 /Retor	5,00	5,0	33	11	45,60	34,40	0,46
B_2 /On-Steam	6,30	4,0	43	11	45,60	44,40	0,46

добавить в качестве укрепляющего материала бязь, что повысит модуль упругости до показателя B_1 . Однако при проектировании технологического процесса стоит учитывать, что при этом потребуется более высокое усилие формования, что приведет к повышению энергозатрат.

Таким образом, установлено, что все исследуемые подкладочные материалы удовлетворяют условиям производства войлочной обуви повышенной формоустойчивости. Ограничение в выборе подкладочного материала будет обеспечиваться контролем показателей гигиенических свойств войлочной обуви на подкладке, которые не должны снижаться более чем на 10–12 % по сравнению со свойствами однослойного войлока. Рекомендуется для получения корректных результатов эксперимента пересмотреть стандарты испытаний материалов, обладающих анизотропной хаотической структурой.

Показатели формоустойчивости обуви на подкладке из исследованных материалов улучшаются в следующем ряду для войлока обувно-

го: B_1 /бязь $\rightarrow$ B_1 /мех $\rightarrow$ B_1 /байка $\rightarrow$ B_1 /кожа $\rightarrow$ B_1 /On-Steam $\rightarrow$ B_1 /Retor; технического: B_2 /байка $\rightarrow$ B_2 /мех $\rightarrow$ B_2 /бязь $\rightarrow$ B_2 /кожа $\rightarrow$ B_2 /Retor $\rightarrow$ B_2 /On-Steam. Производителям войлочной затяжной обуви можно рекомендовать в качестве подкладки все исследованные материалы, поскольку их показатели формоустойчивости коррелируют со свойствами обуви из кожи. Выполненные исследования, в конечном счете, нацелены на то, чтобы при разработке технологии изготовления обуви из материалов анизотропной хаотической структуры с применением цифровизации, обеспечить требования параметров адресного проектирования технологического процесса с учетом назначения обуви, сезона и условий ее эксплуатации.

В рамках этого исследования были проанализированы материалы, используемые в производстве обуви, включая валяльно-войлочные материалы и подкладочные ткани. Были изучены их физико-механические свойства и влияние состава войлока и типа подкладки на характе-

ристики верха обуви. Исследование также охватило альтернативный технический тонкошерстный войлок и его возможность использования в производстве обуви. Результаты анализа помогут оптимизировать производственные процессы и улучшить качество обуви. В ходе исследования было выяснено, что выбор подкладочных материалов существенно влияет на формоустойчивость обуви из тонких войлоков. Для действия наилучшего эффекта рекомендуется подбирать такие материалы, которые обеспечивают максимальную поддержку и фиксацию формы изделия. Это особенно актуально для создания обуви с анизотропной хаотической структурой, которая требует более тщательного подхода к выбору подкладочных материалов.

Полученные результаты исследований могут быть использованы при проектировании и производстве обуви, особенно в условиях повышенной нагрузки на изделие. Они также пригодятся для прогнозирования поведения обуви при различных условиях эксплуатации, что позволит улучшить качество и долговечность продукции. Таким образом, результаты исследований позволяют улучшить качество и конкурентоспособность обуви на рынке, а также расширить возможности ее применения в разных сферах деятельности.

Комбинация различных материалов в виде пакета может значительно улучшить свойства обуви на основе войлока: увеличить прочность, сохранить мягкость и гибкость материала, а также снизить вероятность возникновения запаха.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aksakal, B. (2009), The effect of temperature and water on the mechanical properties of wool fibres investigated with different experimental methods, *Fibers and Polymers*, 2009, vol. 10, Is. 5, pp. 673–680.
2. Bao, M., Zhou, Q., Dong, W., Lou, X. and Zhang, Y. (2013) Ultrasound-modulated shape memory and payload release effects in a biodegradable cylindrical rod made of chitosan-functionalized plga microsphere, *Biomacromolecules*, 2013, режим доступа: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23675980/> (дата доступа: 18 апреля, 2023 года).
3. Горбачик, В. Е., Максина, З. Г., Загайгора, К. А. (2006), Рациональная комплектация верха обуви, как фактор повышения качества и ресурсосбережения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2006, С. 135–136.
4. Кирсанова, Е. А., Шустов, Ю. С., Куличенко, А. В., Жихарев, А. П. (2013), *Материаловедение (ди-*

REFERENCES

1. Aksakal, B. (2009), The effect of temperature and water on the mechanical properties of wool fibres investigated with different experimental methods, *Fibers and Polymers*, 2009, vol. 10, Is. 5, pp. 673–680.
2. Bao, M., Zhou, Q., Dong, W., Lou, X. and Zhang, Y. (2013), Ultrasound-modulated shape memory and payload release effects in a biodegradable cylindrical rod made of chitosan-functionalized plga microsphere, *Biomacromolecules*, 2013, access mode: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23675980/> (access date: April 18, 2023).
3. Gorbachik, V. E., Maksina, Z. G., Zagaigora, K. A. (2006), Rational assembly of shoe uppers as a factor in improving quality and resource saving [Racionalnaya komplektaciya verha obuvi kak factor povysheniya kachestva i resursosberezheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2006, pp. 135–136.

- зайн костюма): Учебник, *Вузовский учебник: ИНФРА_М*, Москва, 2013, 395 с.
5. ОСТ 17-531-75 (1975). *Войлок обувной тонкошерстный. Технические условия*, введ. 1975-11-01, Издательство стандартов, Москва, 1975, 10 с.
 6. ГОСТ 11025-78 (1978). *Войлок тонкошерстный для электрооборудования и детали из него*, введ. 1978-11-01, Издательство стандартов, Москва, 1978, 10 с.
 7. Панкевич, Д. К., Ивашко, Е. И., Кудрицкий, В. Г. (2022), Оценка свойств многослойных мембранных текстильных материалов различных структур, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, Иваново, 2022, № 6 (402), С. 51–59.
 8. Зарицкий, Б. П., Леденева, И. Н., Гинзбург, Л. И. (2016), Априорное ранжирование факторов, влияющих на формоустойчивость обуви с верхом из войлоков, *Дизайн и технологии*, Москва, 2016, № 52(94), С. 42–49.
 9. Зарицкий, Б. П., Леденева, И. Н., Гинзбург, Л. И. (2016), Оптимальный выбор пакета материалов для повышения формоустойчивости обуви из войлока, *Дизайн и технологии*, Москва, 2016, № 55(97), С. 28–32.
 10. Леденева, И. Н., Белгородский, В. С., Севостьянов, П. А., Кирсанова, Е. А. (2023), Особенности диссипации энергии деформации в нетканом волокнистом материале, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, Иваново, 2023, № 1 (403), С. 84–90.
 11. Белопухов, С. Л., Жарких, О. А., Дмитриевская, И. И., Шанаева, Е. А., Разумеев, К. Э. (2019), Оценка качества шерстяного волокна методом сканирующей электронной микроскопии, *Овцы, козы, шерстяное дело*, Москва, 2019, № 3, С. 42–45.
 4. Kirsanova, E. A., Shustov, Yu. S., Kulichenko, A. V., Zhikharev, A. P. (2013), *Materials Science (Costume Design): Textbook*. [Materialovedenie dizajn kostyuma: Uchebnik], *Vuzovskij uchebnik: IN-FRA_M – University textbook: INFRA_M*, Moscow, 2013, 395 p.
 5. OST 17-531-75 (1975). *Fine-wool shoe felt. Specifications* [Vojlok obuvnoj tonkosherstnyj tekhnicheskie usloviya], input. 1975-11-01, Izdatel'stvo standartov – Publishing House of Standards, Moscow, 1975, 10 p.
 6. GOST 11025-78 (1978). *Fine-wool felt for electrical equipment and details from it* [Vojlok tonko-sherstnyj dlya ehlektrooborudovaniya i detail iz nego], introduced. 1978-11-01, Izdatel'stvo standartov – Publishing House of Standards, Moscow, 1978, 10 p.
 7. Pankevich, D. K., Ivashko, E. I., Kudritsky, V. G. (2022), Evaluation of the properties of multilayer membrane textile materials of various structures [Ocenka svojstv mnogoslojnyh membrannyh tekstilnyh materialov razlichnyh struktur], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, Ivanovo, 2022, № 6 (402), pp. 51–59.
 8. Zaritsky, B. P., Ledeneva, I. N., Ginzburg, L. I. (2016), A priori ranking of factors affecting the dimensional stability of shoes with felt uppers [Apriornoe ranzhirovanie faktorov vliyayushchih na formoustojchivost obuvi s verhom iz vojlokov], *Dizajn i tekhnologii – Design and Technology*, Moscow, 2016, № 52(94), pp. 42–49.
 9. Zaritsky, B. P., Ledeneva, I. N., Ginzburg, L. I. (2016), The optimal choice of a package of materials to improve the dimensional stability of felt shoes [Optimalnyj izbor paketa materialov dlya povysheniya formoustojchivosti obuvi iz vojloka], *Dizajn i tekhnologii – Design and Technology*, Moscow, 2016, № 55(97), pp. 28–32.
 10. Ledeneva, I. N., Belgorodskii, V. S., Sevostyanov, P. A., Kirsanova, E. A. (2023), Peculiarities of

12. Абдуллин, В. Ш., Хамматова, В. В., Слепнева, Е. В. (2012), Влияние моющих веществ на промывку шерстяных волокон в процессе их первичной обработки, *Вестник Казанского технологического университета*, Казань, 2012, т. 15, № 14, С. 79–81.
13. Леденева, И. Н., Рыбакова, О. Н., Захарова, А. А. (2008), Исследование изотермы сорбции технического войлока как материала для верха обуви, *Кожевенно-обувная промышленность*, Москва, 2008, № 3, С. 30–31.
11. Belopukhov, S. L., Zharkikh, O. A., Dmitrevskaya, I. I., Shanaeva, E. A., Razumeev, K. E. (2019), Assessment of the quality of wool fiber by scanning electron microscopy [Oценка kachestva sherstyanogo volokna metodom skaniruyushchej ehlektronnoj mikroskopii], *Ovcy, kozy, sherstyanoe delo – Sheep, goats, wool business*, Moscow, 2019, № 3, pp. 42–45.
12. Abdullin, V. Sh., Khammatova, V. V., Slepneva, E. V. (2012), Influence of detergents on the washing of wool fibers during their primary processing [Vliyanie moyushchih veshchestv na promyvku sherstyanyh volokon v processe ih pervichnoj obrabotki], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Kazan Technological University*, Kazan, 2012, vol. 15, № 14, pp. 79–81.
13. Ledeneva, I. N., Rybakova, O. N., Zakharova, A. A. (2008), Study of the sorption isotherm of technical felt as a material for the uppers of shoes [Issledovanie izotermoy sorbcii tekhnicheskogo vojloka kak materiala dlya verha obuvi], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost' – Leather and footwear industry*, Moscow, 2008, № 3, pp. 30–31.
- strain energy dissipation in a nonwoven fibrous material [Osobennosti dissipacii ehnergii deformacii v netkanom voloknistom materiale], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, Ivanovo, 2023, № 1 (403), pp. 84–90.

Статья поступила в редакцию 25. 05. 2023 г.

БИОХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОТОНИЗИРОВАННОГО ЛЬНЯНОГО ВОЛОКНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФЕРМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ПЕКТИНАЗ

BIOCHEMICAL TECHNOLOGY FOR PRODUCING COTTONIZED FLAX FIBER USING ENZYME COMPOSITIONS BASED ON PECTINASES

УДК 677.11/027.2

Д.Л. Лисовский*, Н.Н. Ясинская, А.А. Кузнецов
Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-18-25>

D. Lisouski*, N. Yasinskaya, A. Kuznetsov
Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЛЕН, КОТОНИЗИРОВАННОЕ ВОЛОКНО, БИООТВАРКА, ФЕРМЕНТНАЯ ОБРАБОТКА

Классическая технология щелочной отварки с последующим белением, используемая в текстильном производстве для химической котонизации льняного волокна, обладает рядом недостатков. Она включает в себя применение агрессивных химических реагентов, высокое потребление энергии и воды, а также негативное воздействие на окружающую среду.

В статье рассмотрен потенциал применения ферментных композиций на основе пектиназ в качестве альтернативы классической технологии щелочной отварки. Проведена биоотварка котонизированного льняного волокна с использованием ферментных композиций различного состава на основе пектиназ в промышленных условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат». Биохимический способ получения отбеленного котонизированного волокна включает операции биохимической и окислительной варки. Полученное отваренное волокно обладало меньшей массодлиной, ее снижение было более выраженным, а диаметр на 6,5 % меньше в сравнении с волокном, полученным традиционным способом. Предварительно обработанное ферментными композициями льняное волокно с последующим белением продемонстрировало сопоставимую величину диаметра с волокном, полученным в результате щелочной отварки. Содержание целлюлолитической активности в композиции

ABSTRACT

FLAX, COTTONIZED FIBER, BIOSCOURING, ENZYME TREATMENT

The classical technology of alkaline decoction followed by bleaching, used in the textile industry for the chemical cottonization of flax fiber, has a number of disadvantages. It includes the environmental impact of aggressive chemicals, high energy and water consumption, and negative environmental impacts.

Using production facilities of Orsha Linen Mill, bioscouring of cottonized flax fiber was carried out by introducing various enzyme compositions based on pectinases. The biochemical method for producing bleached cottonized fiber includes the operations of biochemical and oxidative pulping. The produced scoured fiber had a smaller mass length, its decrease was more evident, and the diameter was 6.5 % smaller in comparison with the fiber produced by the traditional method. The pretreated with enzymes and bleached flax fiber showed a comparable diameter value with the fiber obtained as a result of alkaline scouring. The content of cellulolytic activity in the composition increased the content of short fibers, but contributed to a decrease in the average diameter by more than 35 %. It has been proven that pre-enzymatic treatment makes it possible to produce fine cottonized flax fiber suitable for the production of yarn with improved quality indicators.

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

увеличивало содержание коротких волокон, но способствовало снижению среднего диаметра на более чем на 35 %. Доказано, что предварительная ферментная обработка позволяет получить тонкое котонизированное льняное волокно, пригодное для производства пряжи с улучшенными качественными показателями.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время льняная отрасль Республики Беларусь олицетворяет собой одну из стратегически важных отраслей национальной экономики. Производство льняных тканей и изделий на их основе в Республике Беларусь имеет долгую историю и значительный опыт, что позволяет конкурировать на мировом рынке текстильной продукции. Однако рентабельность льноводства может колебаться из-за различных факторов, таких как изменение мировых цен, урожайность и качество льна [1].

Переработка отходов льняной промышленности и короткого льняного волокна является одним из способов увеличения рентабельности льноводства в Республике Беларусь. Примером такой переработки является получение котонизированного льняного волокна. Котонизация льна – это технологический процесс, при котором льняное волокно подвергается специальной обработке, благодаря чему оно становится мягким, пластичным, происходит его расщепление, и волокно приобретает свойства, схожие с хлопковым [2].

Котонизация может стать одним из способов увеличения рентабельности льноводства по следующим причинам:

- **Расширение рынка сбыта:** котонизированный лен может использоваться в производстве разнообразной текстильной продукции, такой как одежда, домашний текстиль, текстиль для гостиниц и ресторанов. Это поможет привлечь больше покупателей и повысить спрос на льняные изделия.
- **Диверсификация продукции:** производство котонизированного льна позволяет разнообразить ассортимент товаров, производимых из льна, что может привлечь новых потребителей и увеличить доходы производителей.

- **Замена импортного хлопка:** в некоторых случаях котонизированный лен может заменить импортный хлопок, что позволит снизить зависимость от импорта и улучшить баланс внешней торговли страны.

- **Экологическая устойчивость:** лен является более экологичным и устойчивым растением по сравнению с хлопком, поскольку требует меньше воды, пестицидов и минеральных удобрений. Это может стать конкурентным преимуществом котонизированных льняных изделий перед хлопчатобумажными.

- **Уникальные свойства льна:** льняные волокна обладают уникальными свойствами, такими как высокая прочность, гигроскопичность, антибактериальность и терморегуляция. Котонизированный лен сохраняет эти свойства, что делает его привлекательным для потребителей.

РУПТП «Оршанский льнокомбинат» является одним из крупнейших предприятий в Республике Беларусь, специализирующихся на производстве льняных текстильных изделий. Комбинат был основан в 1940-х годах и с тех пор развился до крупного производителя льняных изделий на мировом рынке. На РУПТП «Оршанский льнокомбинат» реализована химико-механическая технология котонизации льняного волокна, которая включает механическую стадию котонизации на линии фирмы ТЕМАФА, и стадию химической обработки полученного волокна щелочным раствором при высокой температуре с последующим белением пероксидом водорода в аппаратах «Эко блок Х-1600». Это позволяет получать котонин, пригодный для переработки в пряжу пневмомеханическим способом.

Тем не менее классическая технология щелочной отварки льняного волокна с последующим белением, используемая в производстве, обладает рядом недостатков. Она включает в

себя применение агрессивных химических реагентов, высокое потребление энергии и воды, а также негативное воздействие на окружающую среду.

В связи с вышеизложенным, выполненная работа была направлена на разработку новых подходов к производству котонизированного льняного волокна, базирующихся на использовании ферментных композиций на основе пектиназ, что позволяющих снизить экологический след процесса и повысить экономическую эффективность. В статье рассмотрен потенциал применения ферментных композиций на основе пектиназ в качестве альтернативы классической технологии щелочной отварки.

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 композиций на основе пектиназ производства 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 галактуронозой, после чего добавляли 2 *см*³ 1 *М* раствора серной кис-

лоты и титровали 0,05 *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* галактуронозой кислоты за один час при температуре 50 °С и *pH* 3,5.

Пектатлиазную активность определяли спектрофотометрическим методом по количеству ненасыщенных продуктов деструкции полигалактуронозой кислоты под действием ферментного препарата на полигалактуронозовую кислоту по известной методике [3] с небольшими изменениями. В качестве субстрата использовали 0,2 % раствор полигалактуронозой кислоты (Sigma 81325) в 0,2 *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 полигалактуронозовую кислоту за одну минуту при температуре 45 °С и *pH* 9,0 образуется 1 микроль 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%-ый раствор натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Sigma 21902, medium viscosity) в 0,1 *М* ацетатном буферном растворе с *pH* 5,0 при определении активности кислой целлюлазы и в 0,1 *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 °С и *pH* 6,0 образуется 1 микроль восстанавливающих сахаров в пересчете на глюкозу.

Определение липазной активности проводили согласно [5] с модификациями. Метод основан на фотометрическом определении *p*-нитрофенола, образующегося в результате действия липазы на субстрат *p*-нитрофенилпальмитат. За единицу липазной активности принято такое количество фермента, при действии которого на

субстрат образуется 1 мкмоль п-нитрофенола за одну минуту при температуре 40 °С и *pH* 8,0.

Методики оценки физико-механических свойств волокна

Физико-механические характеристики (линейная плотность, массовая доля сорных примесей и костры, массовая доля коротких волокон до 15 *мм*, массовая доля волокон длиной свыше 40 *мм*, средняя массодлина волокна) исходного и обработанного котонина определяли по [6, 7].

Диаметр волокна определяли на микроскопе Альтами MET 5T, предварительно подготавливая штапель путем расчесывания пучка волокон. Для каждого образца проводили 210 измерений. Статистическую обработку полученных данных, а также значения среднего диаметра, процентов D10, D50 и D90 получали при помощи программного обеспечения TIBCO Statistica 13.5.017.

Результаты и обсуждение

Опираясь на результаты предыдущей работы [8] были разработаны ферментные композиции нескольких составов, характеристика которых приведена в таблице 1.

Апробация ферментных композиций состава № 1 и состава № 3 была проведена на производственных мощностях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» по технологической схеме, приведенной на рисунке 1, а ферментной композиции состава № 2 – по технологической схеме, приведенной на рисунке 2. Традиционный процесс на предприятии реализуется с использованием щелочной отварки при температуре 100–110 °С в течение 3 часов при общей щелочности раствора 11 *г/л* при получении отваренного волокна, и в течение 1 часа при общей щелочности раствора 5,5–5,7 *г/л* с последующим белением при получении отбеленного волокна.

Таблица 1 – Характеристика ферментных композиций

Ферментная композиция	Ферментативная активность*, <i>ед/мл</i>			
	ПГ	ПЛ	Ц	Л
Состав № 1	360	330	-	-
Состав № 2	320	300	205	-
Состав № 3	320	300	400	300

Примечание: *ПГ – полигалактуроназная, ПЛ – пектацелиазная, Ц – целлюлазная, Л – липазная

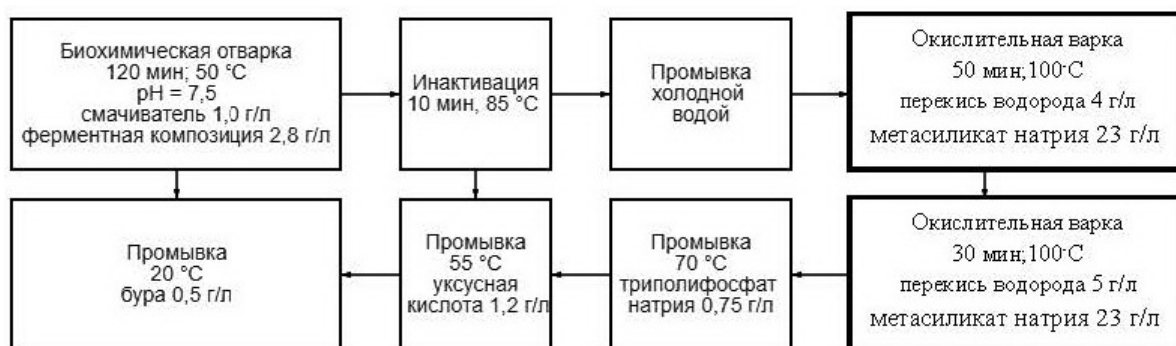


Рисунок 1 – Схема биохимического способа получения отбеленного котонизированного волокна



Рисунок 2 – Схема биохимического способа получения отваренного котонизированного волокна

Для подтверждения эффективности предложенной биохимической технологии были проведены исследования физико-механических свойств обработанного льняного волокна в сравнении с волокном, обработанным традиционным способом (ходовой режим) (таблица 2).

Сравнивая два технологических режима, можно заметить, что в отваренном волокне по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией наблюдается небольшое увеличение массовой доли коротких волокон до 15 *мм* и снижение массовой доли волокон длиной свыше 40 *мм*.

Снижение средней массодлины волокна после обработки по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией составляет 7,5 *мм*, тогда как для ходового технологического режима это снижение составляет всего 1,2 *мм*. Это означает, что снижение массодлины волокна при использовании предложенного технологического режима с ферментной композицией оказывается более выраженным, чем при ходовом технологическом режиме. Это может указывать на то, что биохимическая обработка с использованием ферментной композиции может вызывать некоторое разрушение волокон.

Таблица 2 – Физико-механические характеристики исходного (сурового) и отваренного льняного волокна

Волокно	Линейная плотность, <i>текс</i>	Массовая доля сорных примесей и костры, %	Массовая доля ко- ротких волокон до 15 <i>мм</i> , %	Массовая доля волокон длиной свыше 40 <i>мм</i> , %	Средняя массодлина волокна, <i>мм</i>
Суровое волокно для предложенного технологического режима	1,82	1,7	9	59,5	51,6
Отваренное волокно по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией (состав № 2)	1,38	1,4	17	48,5	44,1
Суровое волокно для ходового технологического режима	1,74	0,8	10	56,0	48,0
Отваренное по ходовому технологическому режиму	1,47	1,1	19	53,0	46,8

Однако стоит отметить, что предложенный технологический режим с ферментной композицией позволяет получить волокно с меньшей линейной плотностью, что указывает на более мягкие и гибкие волокна. Кроме того, этот метод также обеспечивает более высокую эффективность удаления сорных примесей и костры.

Результаты анализа отбеленного волокна, полученного традиционным способом и по предложенной биохимической технологии представлены в таблице 3.

В опыте I предложенный технологический режим с использованием ферментной композиции (состав № 1) приводит к менее значительному снижению средней массодлины волокна по

сравнению с ходовым технологическим режимом. В тоже время среднее значение диаметра полученного волокна обоими методами сопоставимо, что указывает на возможность использования полученного биохимическим способом волокна для производства тонких пряж и тканей. Однако массовая доля коротких волокон увеличивается по сравнению с традиционным способом, что может влиять на качество готовой продукции.

В опыте II предложенный технологический режим с использованием ферментной композиции (состав № 3) показывает различные результаты в зависимости от эксперимента. В целом, средняя массодлина волокна снижается, а

Таблица 3 – Физико-механические характеристики исходного (сурового) и отбеленного льняного волокна

Волокно	Массовая доля сорных примесей и костры, %	Массовая доля коротких волокон до 15 м, %	Массовая доля волокон длиной свыше 40 м, %	Средняя массодлина волокна, м	Среднее значение диаметра, мкм	Минимальное значение диаметра, мкм	Максимальное значение диаметра, мкм	D10, мкм	D50, мкм	D90, мкм
Опыт I										
Суровое волокно	1,7	10	61	53,9	44,6	10	204	14	30	95
Отбеленное волокно по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией (состав № 1)	1,5	20	49	44,6	39,8	10	208	16	27	85
Обработанное по ходовому технологическому режиму	0,4	14	42	37,1	38,7	9	164	12	24	93
Опыт II										
Суровое волокно для предложенного технологического режима	2,3	13	54,5	45,2	44,6	10	198	15	32	97
Отбеленное волокно по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией (состав № 3). Опыт № 1	1,8	22	34,5	31,5	27,9	9	175	12	18	56
Отбеленное волокно по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией (состав № 3). Опыт № 2	1,7	18	34,5	33,2	23,5	8	133	13	19	38
Отбеленное волокно по предложенному технологическому режиму с ферментной композицией (состав № 3). Опыт № 3	1,7	23	39,5	33,6	23,2	8	125	13	20	36

массовая доля коротких волокон увеличивается в сравнении с опытом I. Вероятная причина этого явления связана с наличием целлюлазной активности в ферментной композиции (состав №3).

Волокно, обработанное предложенным биохимическим технологическим режимом с использованием ферментных композиций (составы № 1 и № 3), демонстрирует снижение среднего значения диаметра волокна по сравнению с суровым волокном. Это указывает на эффективность ферментной обработки в разрушении и удалении нежелательных примесей, и создании более однородной структуры волокна. Предложенная ферментная композиции (состав № 3), содержащая целлюлазу и липазу, позволила получить льняное волокно с диаметром более чем на 35 % меньше, чем с композицией, не содержащей данных активностей.

Результаты также показывают, что биохимическая технология обработки льняного волокна приводит к снижению разброса значений диаметра волокна, что может свидетельствовать о более контролируемом и стабильном процессе обработки.

Предложенный биохимический способ обработки льняного волокна также показывает положительные изменения в параметрах D10, D50 и

D90, что свидетельствует о более узком распределении размеров волокон и более однородной структуре.

В целом, результаты анализа диаметра волокна указывают на положительное влияние биохимических способов подготовки льняного волокна. Это открывает новые возможности для применения таких технологий в текстильной промышленности, снижая затраты и уменьшая экологическую нагрузку.

ВЫВОДЫ

Предложенный биохимический способ получения льняного котонина с использованием ферментных композиций на основе пектиназ позволяет улучшить качество льняного волокна, при этом снизив негативное воздействие на окружающую среду. Результаты исследований, представленные в данной статье, могут стать основой для внедрения новых технологий в льняную отрасль Республики Беларусь и повышения ее конкурентоспособности на мировом рынке.

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

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаршунов, В. А., Алексеенко, А. С., Цайц, М. В. (2019), Состояние льноводческой отрасли Республики Беларусь и пути повышения ее эффективности, *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, 2019, № 2, С. 267–271.
2. Науменко, А. М., Рыклин, Д. Б. (2015), Разработка технологии льнохлопковой пряжи пневмомеханического способа формирования, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2015, № 28, С. 86–94.

REFERENCES

1. Sharshunov, V. A., Alekseenko, A. S., Cajc, M. V. (2019), State of the flax industry in the Republic of Belarus and ways to improve its efficiency [Sostojanie l'novodcheskoj otrasli Respubliki Belarus' i puti povyshenija ee jeffektivnosti], *Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel'skhozajstvennoj akademii – Bulletin of Belarussian State Agricultural Academy*, 2019, № 28, pp. 267–271.
2. Naumenko, A. M., Ryklin, D. B. (2015), Development of technology for flax-cotton yarn of the pneumo-mechanical method of formation [Razrabotka tehnologii l'nohlopkovoj prjazhi pnevmomehanicheskogo sposoba

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, *Journal of Analytical Chemistry*, 1959, Vol. 31, Is. 3, pp. 426–428.
5. Daniel R Lewis, Dongzhou J Liu (2012), Direct Measurement of Lipase Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay, *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*, 2012, № 01(03), available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25419492/>.
6. ГОСТ Р 53483-2009. Волокно льняное модифицированное суровое. Методы испытаний. Введ. 01.01.2011, Москва, Стандартинформ, 12 с.
7. ГОСТ Р 53232-2008. Волокно хлопковое. Методы определения длины. Введ. 01.01.2010, Москва, Стандартинформ, 16 с.
8. Лисовский, Д. Л., Ясинская, Н. Н. (2022), Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С 94–103.
- formirovanija], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2015, № 28, pp. 86–94.
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, *Journal of Analytical Chemistry*, 1959, Vol. 31, Is. 3, pp. 426–428.
5. Daniel R Lewis, Dongzhou J Liu (2012), Direct Measurement of Lipase Inhibition by Orlistat Using a Dissolution Linked In Vitro Assay, *Clinical Pharmacology & Biopharmaceutics*, 2012, № 01(03), available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25419492/>.
6. GOST R 53483-2009. *Modified harsh flax fiber. Testing methods*. Vved. 01.01.2011, Moscow, Standartinform, 12 p.
7. GOST R 53232-2008. *Cotton fiber. Methods for determining the length*. Vved. 01.01.2010, Moscow, Standartinform, 16 p.
8. Lisouski, D. L., Yasinskaya, N. N. (2022), The effect of enzyme treatment on the properties of cottonized flax fiber [Vlijanie fermentnoj obrabotki na svoystva l'njnogo kotonina], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2 (43), pp. 94–103.

Статья поступила в редакцию 15. 05. 2023 г.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОПЕРАЦИИ ОТДЕЛКИ «СУШКА-ТЕРМОФИКСАЦИЯ» НА РЕЛАКСАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ВОЗДУХОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОЛУШЕРСТЯНЫХ КАМВОЛЬНЫХ ТКАНЕЙ КОСТЮМНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE FINISHING OPERATION "DRYING- THERMOFIXATION" ON RELAXATION PROCESSES AND AIR PERMEABILITY OF HALF-WOOLLEN WORSTED FABRICS FOR COSTUME PURPOSES

УДК 677.027:303.725.35

В.В. Садовский*, Т.А. Базыльчук

Белорусский государственный экономический
университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-26-35>

V. Sadovski*, T. Bazylchuk

Belarusian State Economic
University

РЕФЕРАТ

*КАМВОЛЬНАЯ ТКАНЬ, ТЕРМОФИКСАЦИЯ,
ДВУХОСНОЕ РАСТЯЖЕНИЕ, РЕЛАКСАЦИЯ УСИЛИЙ*

Авторами статьи проведено исследование, целью которого являлось оценка влияния операции «Сушка-термофиксация» на воздухопроницаемость полушерстяных камвольных тканей с различным соотношением шерстяных волокон, полиэстера и лайкры и происходящие при этом релаксационные процессы. Для достижения поставленной цели были проведены исследования изменения длительности релаксации и воздухопроницаемости тканей различного волокнистого состава при двухосном растяжении и воздействии на ткань потока горячего воздуха (180 °С). Ткани исследовались во влажном и сухом состояниях.

В результате исследования установлено, что процент повышения воздухопроницаемости тканей в результате их термофиксации можно поднять за счет увеличения деформирования по основе и утку и продолжительности воздействия горячего воздуха. Эффективность влияния этих параметров термофиксации можно повысить за счет снижения плотностей по основе и утку, снижения линейных плотностей нитей и повышения их крутки, а также за счет снижения доли шерстяных волокон в составе тканей.

ABSTRACT

*WORSTED FABRIC, THERMOFIXATION, BIAxIAL
TENSION, TENSION RECOVERY*

The article discusses the conducted research, the purpose of which was to assess the effect of drying-thermal fixation on the breathability and relaxation processes of half-woollen worsted fabrics for costume purposes of different densities on the base and weft, with different wool and polyester content, and with the insertion of lycra into the weft thread.

It was found that when exposed to hot air, the intensity of relaxation of efforts in all the studied tissues increases. The duration of relaxation on the base under the influence of hot air is less than at normal temperature. Across the weft the duration of relaxation varies significantly: in tissues that do not contain lycra, it is also lower, and in tissues containing lycra, on the contrary, higher.

The percentage of increased air permeability of fabrics as a result of their thermal fixation can be raised by increasing deformation along the base and weft and the duration of exposure to hot air.

* E-mail: Sadovski_v@bseu.by (V. Sadovski)

Полушерстяные камвольные ткани, содержащие в своем составе волокна шерсти и полиэстера различного процентного соотношения, а также ткани, в состав которых помимо шерсти и полиэстера входит лайкра, проходят ряд этапов отделки для достижения требуемых потребительских свойств, среди которых значимое место занимает воздухопроницаемость, т.к. является одним из важнейших гигиенических свойств тканей. Однако в процессе отделки воздухопроницаемость тканей значительно снижается по сравнению с суровыми тканями (после ткачества). Предварительный анализ этапов отделки показал, что наиболее интенсивные тепловые и механические воздействия на ткани в условиях высокой влажности протекают на стадиях промывки и заварки, а также в процессе сушки-термофиксации. При этом на этапах промывки и заварки происходит уменьшение воздухопроницаемости, на этапе сушки-термофиксации воздухопроницаемость можно повысить и стабилизировать.

Исследования влияния операций «Промывка» и «Заварка» на водопоглощение, усадку и воздухопроницаемость полушерстяных камвольных тканей с различным соотношением шерстяных волокон, полиэстера и лайкры опубликованы в работе [1].

Целью данной работы было проведение исследования влияния операции «Сушка-термофиксация» на воздухопроницаемость полушерстяных камвольных тканей с различным соотношением шерстяных волокон, полиэстера и лайкры и происходящие при этом релаксационные процессы.

Сушка-термофиксация необходима для придания тканям фиксированных размеров по ширине, а также релаксации напряжений в тканях,

возникших при их деформировании. Данная операция производится на сушильно-ширильной машине, где ткань из заправочного устройства проходит через плюсовку с водой (или без воды) и накалывается на иглы разводных цепей без натяжения по основе и перекося по утку; устанавливается скорость прохода тканей через 8 сушильных камер (опережение) и развод цепей на определенное значение в сантиметрах (уширение). Первый параметр характеризует растяжение тканей по основе, второй – по утку. Температурный режим процесса сушки-термофиксации тканей представлен в таблице 1.

Таким образом, в процессе сушки-термофиксации ткани регулируются три параметра: деформация по утку, деформация по основе и длительность воздействия температуры сушки. Кроме того, ткани при термофиксации могут быть во влажном и сухом состояниях.

Для достижения поставленной цели были проведены исследования изменения длительности релаксации и воздухопроницаемости тканей различного волокнистого состава при двухосном растяжении и воздействии на ткань потока горячего воздуха (180 °C). Ткани исследовались во влажном и сухом состояниях.

Исследование проводилось на образцах камвольных тканей различной плотности по основе и утку, с различным содержанием шерсти и полиэстера, и с вложением лайкры в нить утка. Характеристика образцов представлена в таблице 2.

Для моделирования деформаций по основе и утку, а также температуры воздуха, которые в производственных условиях создаются в сушильно-ширильной машине, при проведении исследования применялась установка, представляющая собой цельнометаллическую пря-

Таблица 1 – Режим сушки-термофиксации

Вид ткани	Температура воды в плюсовке, °C	Скорость прохода ткани в камерах, м/мин	Температура в камерах, °C							
			1	2	3	4	5	6	7	8
С лайкрой	20–30	15–22	180	190	190	190	190	190	190	180
Без лайкры			180	180	180	180	180	180	180	180

Таблица 2 – Характеристики исследуемых образцов

№	Состав	Поверхностная плотность, г/м ²	Количество нитей на 10 см ткани, основа/уток	Линейная плотность нитей, текс, основа/уток	Крутка нитей, кр/м, основа/уток	Разрывная нагрузка нитей, сН, основа/уток
1	Ш – 45 %, ПЭ – 55 %	184	<u>339</u> 258	<u>28</u> 28	<u>680</u> 680	<u>497</u> 497
2	Ш – 45 %, ПЭ – 55 %	192	<u>277</u> 216	<u>36</u> 36	<u>1147</u> 1147	<u>495</u> 495
3	Ш – 45 %, ПЭ – 55 %	214	<u>281</u> 190	<u>42</u> 42	<u>536</u> 536	<u>822</u> 822
4	Ш – 43 %, ПЭ – 55 %, Л – 2 %	210	<u>260</u> 190	<u>38</u> 42,4	<u>662</u> 649	<u>643</u> 681
5	Ш – 33 %, ПЭ – 65 %, Л – 2 %	218	<u>248</u> 177	<u>42</u> 46,4	<u>565</u> 669	<u>846</u> 842
6	Ш – 20 %, ПЭ – 78 %, Л – 2 %	225	<u>231</u> 190	<u>42</u> 46,4	<u>562</u> 658	<u>961</u> 995
7	Ш – 66 %, ПЭ – 34 %	280	<u>310</u> 238	<u>50</u> 50	<u>550</u> 550	<u>1050</u> 780
8	Ш – 27 %, ПЭ – 73 %	211	<u>280</u> 226	<u>42</u> 42	<u>672</u> 672	<u>1000</u> 750
9	Ш – 43 %, ПЭ – 55 %, Л – 2 %	210	<u>313</u> 194	<u>38</u> 42,4	<u>662</u> 649	<u>800</u> 400

Примечание: Ш – шерсть, ПЭ – полиэстер, Л – лайкра

моугольную раму на ножках с подвижными зажимами для ткани с каждой стороны, с прикрепленными на них тензометрическими датчиками, и модулем для создания потока горячего воздуха (180 °С) на обе стороны ткани. Установка позволяет создавать различные варианты двухосного деформирования тканей в горизонтальной плоскости и записывать усилия, возникающие при деформировании ткани, а также релаксацию усилия при прекращении деформирования.

Исследование изменения длительности релаксации усилий проводилось на шести образцах тканей: образцы 1–6 одного переплетения – саржа 2/1 (таблица 2). Из них три образ-

ца (№ 1, 2, 3) имели одинаковый волокнистый состав, но различные плотности по основе и утку, и линейные плотности нитей, и три образца (№ 4, 5, 6), состав которых отличается по количеству шерстяных волокон и полиэстера, плотностями по основе и утку, линейными плотностями нитей, а также, в отличие от первых трех образцов, содержат лайкру.

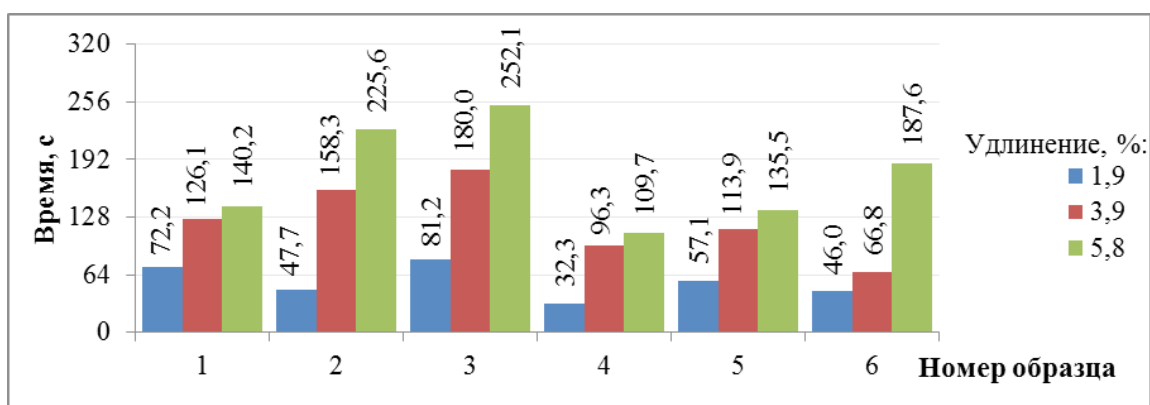
Деформирование образцов производилось одновременно по основе и утку, поэтапно на величины 1,9 %, 3,9 %, 5,8 % и 7,7 %. После каждого этапа определялась релаксация усилия, соответствующая величине деформирования. Запись изменения величины усилия в процессе релаксации производилась через каждые 0,1 с.

После окончания релаксации усилия образца ткани в мокром состоянии при максимальном деформировании ткани (7,7 %) она подвергалась воздействию воздуха высокой температуры (180 °С), и продолжалась запись изменения величины усилия релаксации.

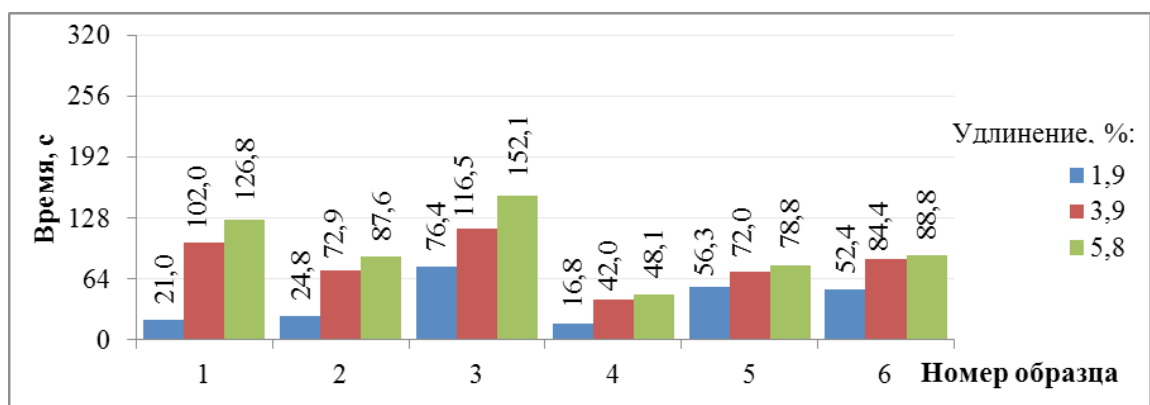
Результаты исследования длительности релаксации усилий после одновременного растяжения тканей по основе и утку в сухом состоянии и при полном влагопоглощении представлены на рисунках 1 и 2.

Из гистограммы на рисунках 1 и 2 видно, что длительность релаксации усилий после прекращения деформирования по основе больше, чем по утку у всех тканей, как в сухом, так и в увлажненном состояниях. При максимальной

величине деформирования она составляет в сухом состоянии по основе 109,7–252,1 с, по утку 48,1–152,1 с, во влажном состоянии – по основе 57,8–267,1 с, по утку 29,8–174,7 с. У тканей, не содержащих лайкру (1, 2, 3), в увлажненном состоянии длительность релаксации выше, чем в сухом, как по основе, так и по утку. Она составляет в сухом состоянии по основе 140,2–252,1 с, по утку 87,6–152,1 с, во влажном состоянии – по основе 166,1–267,1 с, по утку 134,8–174,7 с. У тканей с лайкрой (4, 5, 6) наоборот, во влажном состоянии они релаксируют быстрее, чем в сухом. Длительность релаксации составляет во влажном состоянии по основе 57,8–93,3 с, по утку 29,8–52,3 с, в сухом по основе 109,7–185,6 с, по утку 48,1–88,8 с. Следует от-



а



б

Рисунок 1 – Значения времени релаксации тканей при различном удлинении при деформации по основе и утку в сухом виде: а – основа; б – уток

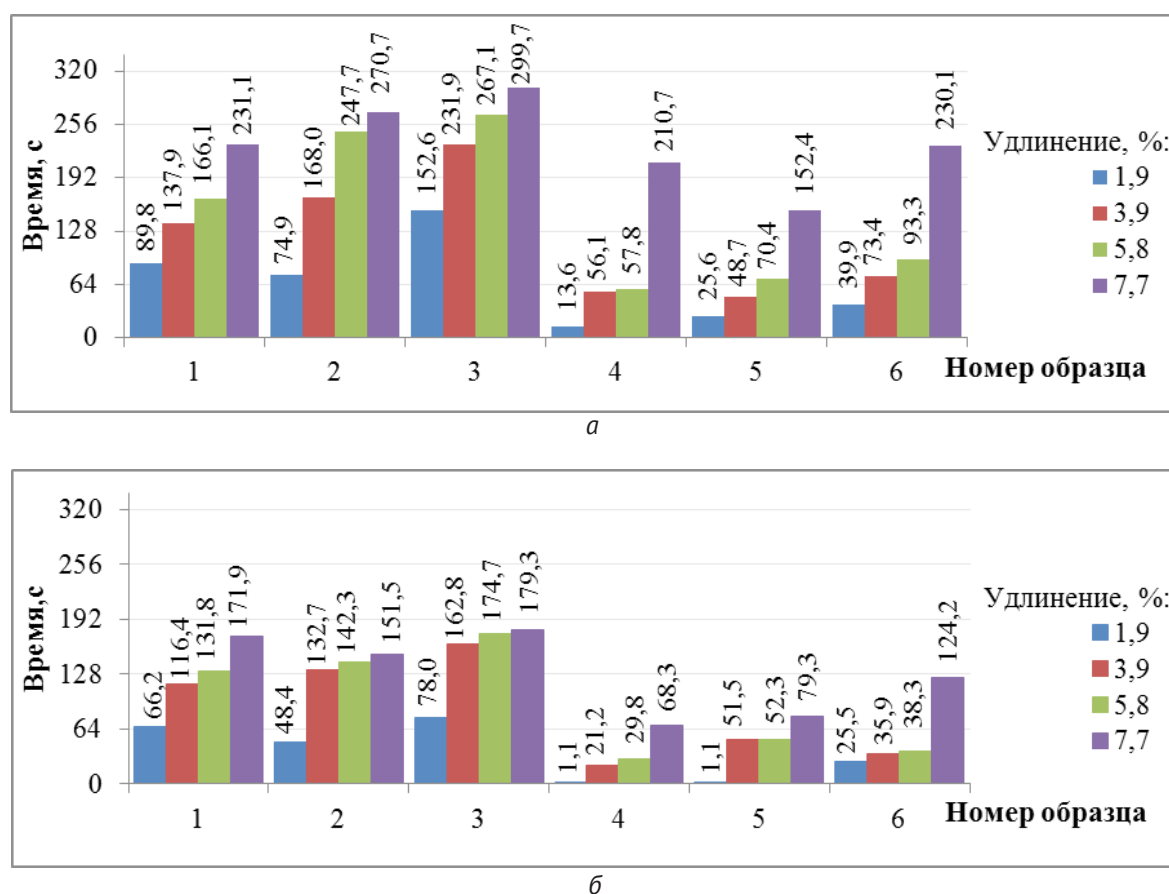


Рисунок 2 – Значения времени релаксации тканей при различном удлинении при деформации по основе и утку во влажном состоянии: а – основа; б – уток

метить, что длительность релаксации по основе и по утку у тканей с лайкрой, значительно меньше, чем у тканей без лайкры, как в сухом, так и в увлажненном состояниях.

Для изучения влияния температуры воздуха на длительность релаксации усилия в условиях двухосного растяжения, по окончании релаксации при нормальной температуре воздуха (18–22 °C), ткани подвергались нагреву потоком горячего воздуха (180 °C).

На рисунке 3 показаны результаты исследования релаксации усилий после растяжения на 7,7 % по основе и утку увлажненных тканей при воздействии горячего воздуха.

Длительность протекания релаксации под воздействием горячего воздуха и при нормальной температуре существенно различается в

направлении основы и утка, а также для тканей, содержащих лайкру и без нее. Из гистограммы на рисунке 3 видно, что при воздействии горячего воздуха длительность релаксации по основе (151,0–206 с) больше, чем по утку (97,4–166,8 с) только у тканей, не содержащих лайкры (1, 2, 3). У тканей с лайкрой (4, 5, 6) наоборот продолжительность релаксации по утку (157,2–163,6 с) больше, чем по основе (114,3–149,9 с).

Сравнивая гистограммы на рисунках 2 и 3 (при деформировании на 7,7 %), видно, что длительность релаксации по основе у всех тканей при воздействии горячего воздуха меньше (114,3–206,0 с), чем при нормальной температуре (152,4–299,4 с). Длительность релаксации по утку у тканей, не содержащих лайкры (1, 2, 3), под воздействием горячего воздуха также меньше

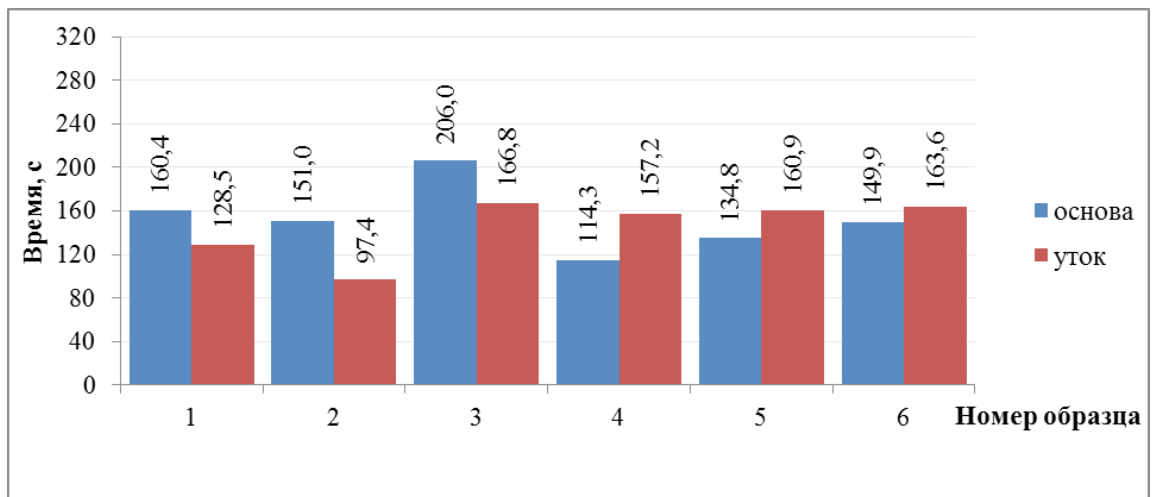


Рисунок 3 – Значения времени релаксации тканей при деформации по основе и утку в мокром виде при воздействии сухого горячего воздуха

(97,4–166,8 с), чем при нормальной температуре (151,5–179,3 с), а у тканей, содержащих лайкру (4, 5, 6), наоборот больше – 157,2–163,6 с против 68,3–124,2 с.

Таким образом, проведенное исследование показало, что длительность релаксации усилий после прекращения деформирования по основе больше, чем по утку у всех тканей, как в сухом, так и в увлажненном состояниях. Длительность релаксации по основе и по утку у тканей с лайкрой, значительно меньше, чем у тканей без лайкры, как в сухом, так и в увлажненном состояниях. У тканей, не содержащих лайкру (1, 2, 3), в увлажненном состоянии длительность релаксации больше, чем в сухом. Ткани с лайкрой (4, 5, 6) наоборот, во влажном состоянии релаксируют быстрее, чем в сухом.

Выявлено, что при воздействии горячего воздуха интенсивность релаксации усилий у всех исследуемых тканей увеличивается.

Длительность протекания релаксации по основе под воздействием горячего воздуха меньше, чем при нормальной температуре. По утку длительность релаксации существенно различается: у тканей, не содержащих лайкру, она также меньше, а у тканей, содержащих лайкру, наоборот, больше.

Исследование зависимости воздухопроницаемости от величины деформации по основе и утку при воздействии горячего воздуха (180 °C) было проведено на образцах камвольных тканей 7–9 (таблица 1) саржевого переплетения, различной плотности по основе и утку, с различным содержанием шерсти и полиэстера, и с вложением лайкры в нить утка.

Эксперимент проводился в соответствии с центральным композиционным ортогональным планом (ЦКОП) [2, 3].

Факторами воздействия являлись: удлинение (в %) по основе (x_1) и по утку (x_2) и время воздействия воздуха (сек) при температуре 180 °C (x_3).

В качестве выходного параметра было взято изменение воздухопроницаемости тканей, которое определялось по формуле:

$$Y = \frac{B - B_0}{B_0} \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где B_0 – воздухопроницаемость образцов до эксперимента, %; B – воздухопроницаемость образцов после эксперимента, %.

Матрица планирования эксперимента представлена в таблице 3. Интервал варьирования

Таблица 3 – План трехфакторного эксперимента

№ опыта	Натуральные значения факторов			Кодированные значения факторов			Изменение воздухопроницаемости, % ткани №		
	x_1	x_2	x_3	x_1	x_2	x_3	7	8	9
1	1,9	1,9	80	-1	-1	-1	0,25	5,95	0,92
2	6,9	1,9	80	+1	-1	-1	1,01	12,05	2,97
3	1,9	6,9	80	-1	+1	-1	1,15	14,02	3,10
4	6,9	6,9	80	+1	+1	-1	3,43	25,85	7,65
5	1,9	1,9	280	-1	-1	+1	2,11	17,02	5,54
6	6,9	1,9	280	+1	-1	+1	3,37	17,75	5,73
7	1,9	6,9	280	-1	+1	+1	3,04	23,71	2,60
8	6,9	6,9	280	+1	+1	+1	4,65	32,91	10,10
9	1,4	4,4	180	-1,215	0	0	1,4	15,34	5,25
10	7,3	4,4	180	+1,215	0	0	2,92	22,03	7,04
11	4,4	1,4	180	0	-1,215	0	1,32	14,34	4,18
12	4,4	7,3	180	0	+1,215	0	3,63	27,00	8,38
13	4,4	4,4	59	0	0	-1,215	0,72	7,76	2,3
14	4,4	4,4	302	0	0	+1,215	2,59	19,59	6,54
15	4,4	4,4	180	0	0	0	1,86	16,60	5,57

факторов x_1 и x_2 взят равный 2,5 %, а фактора x_3 – 100 секунд.

В соответствие с данными таблицы 3 с помощью программы MS Excel рассчитывались коэффициенты уравнения регрессии [4]. Значимость вычисленных коэффициентов, а также адекватность построенного уравнения регрессии проверялась по критерию Стьюдента и Фишера соответственно. Конечный вид уравнений

в кодированных величинах для трех образцов тканей представлен в таблице 4.

Анализируя полученные модели для воздухопроницаемости всех исследуемых тканей, видно, что при факторах воздействия (x_1 , x_2 , x_3) знаки «+». Это говорит о том, что при их увеличении воздухопроницаемость будет увеличиваться.

По математическим моделям, были построены графики зависимости изменения воздухо-

Таблица 4 – Уравнения изменения воздухопроницаемости (Y) от деформаций по основе (x_1) и утку (x_2) и времени воздействия горячего воздуха (x_3) для камвольных тканей

№ обр. ткани	Уравнение регрессии
9	$Y = 1,92 + 0,62 \cdot x_1 + 0,85 \cdot x_2 + 0,79 \cdot x_3 + 0,15 \cdot x_1^2 + 0,37 \cdot x_2^2 - 0,19 \cdot x_3^2 + 0,36 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,15 \cdot x_1 \cdot x_3$
10	$Y = 16,83 + 3,29 \cdot x_1 + 5,36 \cdot x_2 + 4,38 \cdot x_3 + 1,24 \cdot x_1^2 + 2,72 \cdot x_2^2 - 2,15 \cdot x_3^2 + 1,78 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1,00 \cdot x_1 \cdot x_3$
11	$Y = 5,60 + 1,05 \cdot x_1 + 1,68 \cdot x_2 + 1,81 \cdot x_3 + 0,34 \cdot x_1^2 + 0,43 \cdot x_2^2 - 0,92 \cdot x_3^2 + 0,60 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,49 \cdot x_1 \cdot x_3$

проницаемости от времени воздействия горячего воздуха (x_3) при постоянных величинах деформаций по основе (x_1) и утку (x_2), которые представлены на рисунке 4.

Из графиков на рисунке 4 видно, что воздухопроницаемость увеличивается с увеличением времени воздействия горячего воздуха. При этом при максимальном деформировании (6,9 %) тканей, не содержащих лайкру (7 и 8), они достигают максимальных значений при воздействии горячего воздуха в течении 220 с. У ткани с лайкрой (9), при деформировании на 6,9 % максимум изменения воздухопроницаемости достигается к 300 с воздействия горячего воздуха.

По полученным уравнениям регрессии, были построены двумерные сечения поверхности отклика (рисунок 5), по которым можно определить, на сколько изменится воздухопроницаемость, если ткань удлинить по основе и утку на определенный процент. Сечения строились при постоянном времени воздействия горячего воздуха равном 280 секунд, при котором прекращаются релаксационные процессы во всех образцах тканей.

Из анализа двумерных сечений, видно, что ткань 8 (рисунок 5 б), имеющая самые низкие плотности по основе и утку (280 и 226 нитей на 10 см ткани), самую высокую крутку нитей (672 кр/м), в составе которой преобладает полиэстер (73 %), имеет наибольший процент повышения воздухопроницаемости (32 %) при равных величинах деформирования (по основе и утку на 6,9 %).

Ткань 7 (рисунок 5 а), имеющая самые высокие плотности по основе и утку (310 и 238 нитей на 10 см ткани), самую высокую линейную плотность нитей (50 текс) и самую низкую их крутку (550 кр/м), в составе которой преобладают шерстяные волокна (66 %) при тех же величинах деформирования имеет самый низкий процент повышения воздухопроницаемости (4,5 %).

Ткань 9 (рисунок 5 в), содержащая в утку лайкру и 43 % шерстяных волокон, также, как и ткань 7 имеет практически одинаковую высокую плотность по основе (313 и 310 нитей на 10 см ткани), но существенно ниже плотность по утку (194 против 238 нитей на 10 см ткани), ниже линейные плотности нитей (38+42 текс против 50

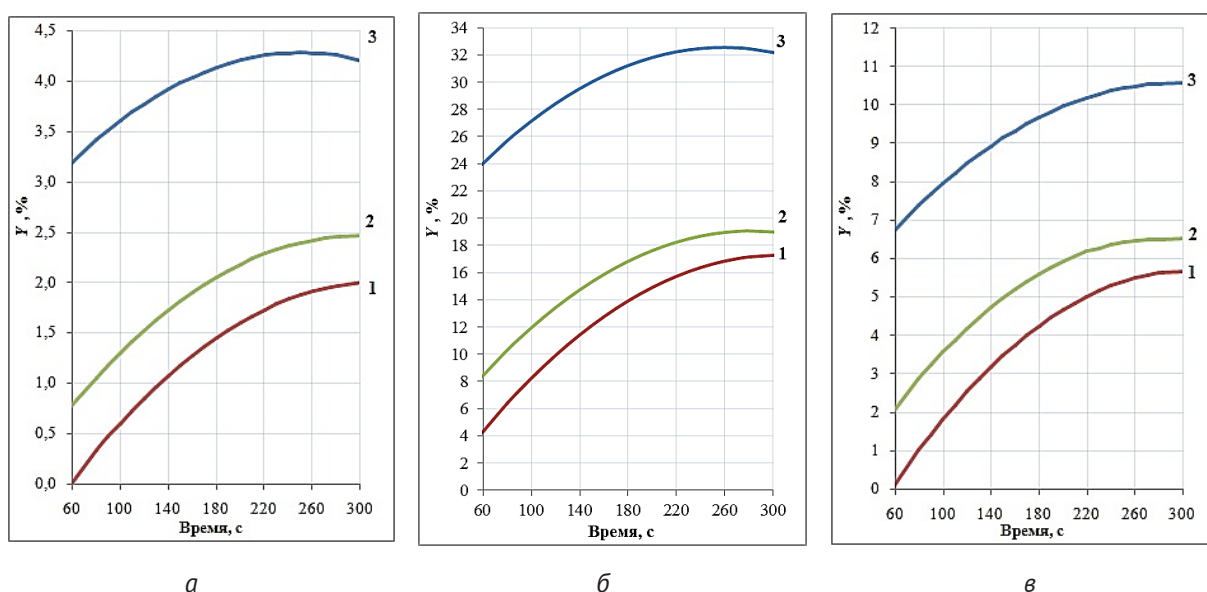


Рисунок 4 – Графики зависимости изменения воздухопроницаемости (Y_j) тканей 7 (а), 8 (б), 9 (в) от времени воздействия температуры при различных величинах деформирования: 1 – $x_1 = x_2 = 1,9 \%$; 2 – $x_1 = x_2 = 4,4 \%$; 3 – $x_1 = x_2 = 6,9 \%$

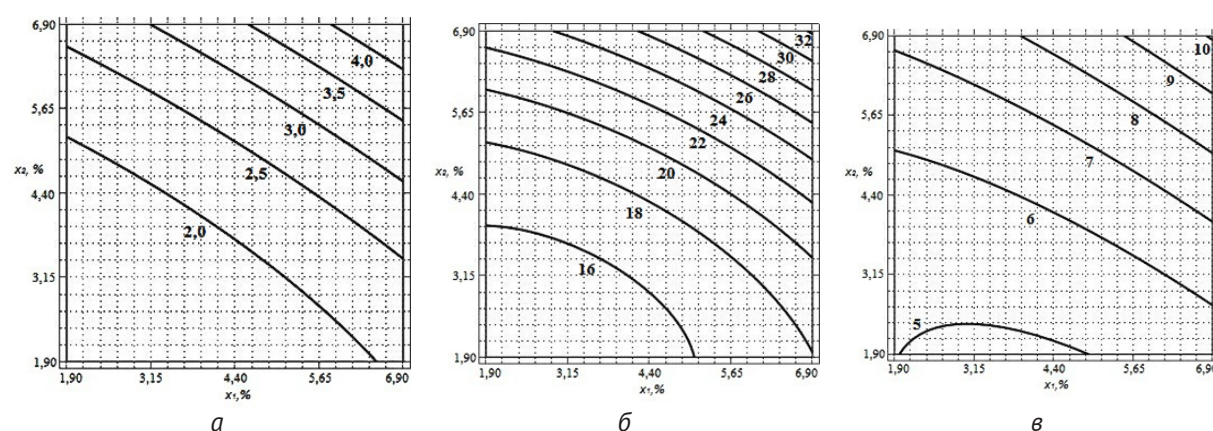


Рисунок 5 – Двумерные сечения поверхности отклика модели изменения воздухопроницаемости: а – для ткани 7, б – для ткани 8, в – для ткани 9

+ 50 *текс*) и значительно выше их крутку (662 против 550 *кр/м*). Структура ткани 9 за счет более низкой плотности по утку, более низкой линейной плотности нитей и более высокой их крутки, а также более низкого содержания шерстяных волокон, не смотря на наличие лайкры, оказалась более подвижной, что способствовало большему, чем у ткани 7 увеличению воздухопроницаемости (10 %).

Из проведенного анализа следует, что процент повышения воздухопроницаемости тканей в результате их термофиксации можно поднять за счет увеличения деформирования по основе и утку и продолжительности воздействия горячего воздуха. Эффективность влияния этих параметров термофиксации можно повысить за счет снижения плотностей по основе и утку, снижения линейных плотностей нитей и повышения их крутки, а также за счет снижения доли шерстяных волокон в составе тканей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Гапонова, Т. А., Садовский, В. В. (2021), Исследование влияния влажно-тепловых операций отделки на воздухопроницаемость и связанные с ней свойства полшерстяных камвольных тканей костюмного назначения, *Вестник БГЭУ*, 2021, № 6, С. 38–47.
- Макаричев, Ю. А., Иванников, Ю. Н. (2016), *Методы планирования эксперимента и обработки данных: учеб. пособие*, Саратов, 131 с.

REFERENCES

- Gaponova, T. A., Sadovskiy, V. V. (2021), Research of the influence of wet-thermal operations on air permeability and the related properties of half-woolen worsted fabrics [Issledovaniye vliyaniya vlazhno-teplovyyh operatsiy otdelki na vozduhopronicaemost' i svyazannyye s neyu svoystva polusherstyanykh kamvol'nykh tkanej kostyumnogo naznacheniya], *Vestnik BGEU – Bulletin BSEU*, 2021, № 6, pp. 38–47.
- Makarichev, Ju. A., Ivannikov, Ju. N. (2016), *Metody planirovaniya jeksperimenta i obrabotki dannyh*:

3. Юдин, Ю. В., Майсурадзе, М. В., Водолазский, Ф. В. (2018), *Организация и математическое планирование эксперимента*, Екатеринбург, 124 с.
4. Смит, Р. А., Андранович, О. С., Демьянцева, Е. Ю. (2018), *Использование программного пакета Origin для обработки экспериментальных данных: учеб. пособие*, Санкт-Петербург, 45 с.
3. Judin, Ju. V., Majsuradze, M. V., Vodolazskij, F. V. (2018), *Organizacija i matematicheskoe planirovanie jeksperimenta* [Organization and mathematical planning of the experiment], Ekaterinburg, 124 p.
4. Smit, R.A., Andranovich, O. S., Dem'janceva, E. Ju. (2018), *Ispol'zovanie programmnogo paketa Origin dlja obrabotki jeksperimental'nyh dannyh: ucheb. posobie* [Using the Origin software package for processing experimental data], Sankt-Peterburg, 45 p.

Статья поступила в редакцию 26. 04. 2023 г.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ И ИЗУЧЕНИЕ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТКАНЕЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

CHOOSING A RATIONAL STRUCTURE AND STUDYING THE RADIO AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FABRICS FOR PROTECTION FROM ELECTROMAGNETIC RADIATION

УДК 677.07.13, 677.532, 677.017.6

П.Е. Сафонов*, Н.М. Левакова

ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-36-48>

P. Safonov*, N. Levakova

TEKS-CENTRE LLC

РЕФЕРАТ

ЭКРАНИРУЮЩИЕ ТКАНИ, КОМБИНИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НИТИ, МЕДНАЯ И СТАЛЬНАЯ ПРОВОЛОКА, КОЭФФИЦИЕНТ ПРОХОЖДЕНИЯ И ОТРАЖЕНИЯ

Исследование посвящено вопросам проектирования, выбора оптимальных структур и изучению радиотехнических характеристик тканей, предназначенных для защиты человека и специальной техники от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). В соответствии с современными российскими стандартами средства индивидуальной защиты должны обеспечивать коэффициент экранирования в диапазоне частот 30 кГц...60 ГГц не менее 30 дБ.

Традиционные текстильные структуры (однослойные ткани и трикотаж), в первом приближении являющиеся двумерными материалами, способны обеспечить высокий уровень экранирования ЭМИ РЧ за счет высокой степени его отражения ($K_{отр} = 88...99\%$) – принцип клетки Фарадея. Для экранирования ЭМИ РЧ с использованием принципа поглощения необходимо использовать многослойные текстильные структуры с эффектом, так называемого многократного внутреннего отражения, которые, очевидно, обладают большим весом в сравнении с однослойными тканями.

В данной работе для эффективного экранирования ЭМИ РЧ предложено использовать сме-

ABSTRACT

SHIELDING FABRICS, COMBINED ELECTRICALLY CONDUCTIVE THREADS, COPPER AND STEEL WIRE, TRANSMISSION AND REFLECTION COEFFICIENT

The research is devoted to topical issues of designing, choosing a rational structure and studying the radio and technical properties of fabrics designed to shield electromagnetic radiation of the radio frequency range.

The article shows that single-layer woven structures can provide effective protection against electromagnetic radiation of the radio frequency range due to a high degree of reflection ($C_{ref} = 88...99\%$). If necessary, by alternating fabrics with different reflection and absorption coefficients in the package, the effect of multiple internal reflection can be realized.

The conducted studies have confirmed that the shielding properties of fabrics can be varied by changing the geometry of the cell formed by the conductive threads of the warp and weft. The dependence between the length of the electromagnetic wave and the size of the side of the cell necessary for its reflection is confirmed.

For effective shielding, it is proposed to use combined yarns with different percentages of steel fibers and combined electrically conductive threads, which should contain metal wire with low electrical resistance (copper and its alloys, steel).

Fabrics with a surface density from 55 to 220 g/m² have been developed, which have a trans-

* E-mail: pavlin722007@yandex.ru (P. Safonov)

совые пряжи с различным процентом вложения стальных волокон (не менее 30 %) и комбинированные электропроводящие нити, которые должны содержать металлическую проволоку с малым электрическим сопротивлением (медь и ее сплавы, сталь).

Разработанные ткани с поверхностной плотностью от 55 до 220 г/м² имеют коэффициент прохождения равный или менее -30 дБ при частоте излучения от 300 кГц до 16 ГГц.

mission coefficient equal to or less than -30 dB at a radiation frequency from 300 kHz to 16 GHz.

Аналитическая часть

В связи с непрекращающимся расширением сфер применения устройств и приборов (бытового, промышленного и оборонного назначения), являющихся источниками электромагнитного излучения, в том числе радиочастотного диапазона, особо актуальным направлением является проектирование структур текстильных материалов с заданной защитной способностью в широком частотном диапазоне электромагнитного излучения.

Объектами данного исследования являются ткани для защиты от электромагнитного излучения (ЭМИ) радиочастотного диапазона (РЧ). Руководствуясь определениями стандартов Российской Федерации, в частности ГОСТом 12.4.305-2016 и ГОСТом 12.4.306-2016, под ЭМИ радиочастотного диапазона понимается излучение в диапазоне частот от 30 кГц до 60 ГГц (от 10 см до 5 мм). При этом коэффициент экранирования в диапазоне частот от 30 кГц до 60 ГГц должен быть не менее 30 дБ.

Все способы эффективного экранирования ЭМИ РЧ с помощью средств индивидуальной защиты (СИЗ) можно условно разделить на две большие группы: экранирование за счет отражения и экранирование за счет поглощения излучения в интересующем диапазоне частот.

Традиционные текстильные структуры (ткани и трикотаж) в первом приближении можно рассматривать, как двухмерные материалы, из-за малого значения их толщины [1]. В подобных «плоских» структурах эффективную защиту от ЭМИ РЧ можно обеспечить лишь за счет высокой степени его отражения – принцип клетки Фарадея.

Для экранирования ЭМИ РЧ с использованием принципа поглощения (или комбинации поглощения и отражения) необходимо использовать многослойные текстильные структуры с эффектом, так называемого многократного внутреннего отражения [2], что, очевидно, приведет к увеличению веса защитного экрана.

Из работы [2] известно, что для решения задачи экранирования ЭМИ частотой от 1 до 18 ГГц предложено использовать пакеты текстильных материалов, на отдельные слои которых нанесены тонкослойные покрытия различных металлов.

На рисунке 1 схематично показано явление множественного отражения ЭМИ: волны, отраженные от второй границы поверхности, снова отражаются от первой поверхности и возвращаются на вторую поверхность, и когда волна достигает второй поверхности во второй раз, она уже имеет пренебрежимо малую амплитуду колебаний и т. д. По мнению авторов, для эффективной защиты от ЭМИ компоненты слоев в пакете должны сочетать высокую электропроводность и ферромагнитные свойства.

В рамках нашего исследования будут рассмотрены только ткани в виде отдельных слоев, которые должны экранировать ЭМИ РЧ за счет высокой степени отражения. Высокую степень отражения в рамках одного слоя ткани можно обеспечить следующими технологическими приемами:

- 1) обеспечить сплошное высокоэлектропроводящее покрытие (никель, сталь и т. д.) на поверхности ткани путем ее металлизации;
- 2) для изготовления ткани использовать смешанную пряжу с вложением электропроводящих

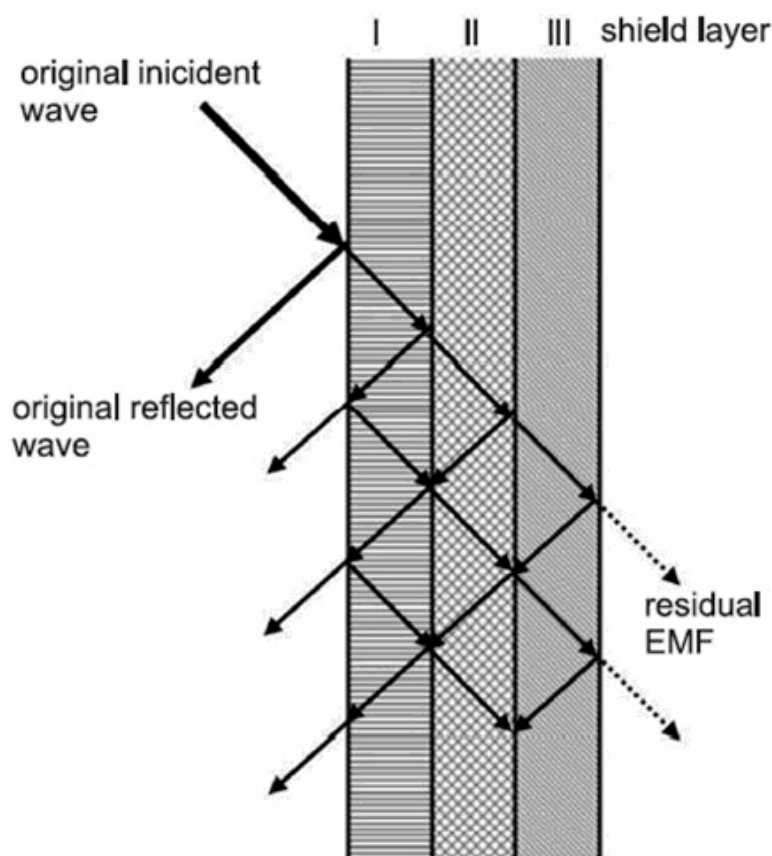


Рисунок 1 – Схема множественных внутренних отражений в многослойном экране, изображение из статьи [2]

волокон (как правило, нержавеющей сталь);

3) для изготовления ткани использовать непрерывные проводники – металлические микропровода (как правило, медная или стальная проволока);

4) использовать комбинацию способов 2 и 3.

Для изготовления радиоотражающих тканей специального назначения, а также экранирующей спецодежды, получили распространение ткани, структура которых предполагает наличие электропроводящей решетки с регулярными квадратными ячейками из основных и уточных нитей, в некоторых случаях чередующихся с непроводящими нитями [3].

На рисунке 2 представлена принципиальная схема описанной структуры, при этом из опыта использования данных тканей известно, что с увеличением расстояния между электропро-

водящими нитями более 1 мм эффективность экранирования от ЭМИ РЧ резко снижается.

Из работы [1] известно об изготовлении трех вариантов ткани, содержащих в своей структуре комбинированные крученые электропроводящие нити, изготовленные ткани имеют расстояние между электропроводящими нитями равное 3 мм.

Авторами были произведены измерения коэффициентов пропускания и отражения в пределах следующих диапазонов частот: 2,5...3,5 ГГц; 3,5...5 ГГц; 5...8 ГГц; 8...13 ГГц; 13...18 ГГц. Коэффициенты прохождения образцов тканей при максимальной частоте 18 ГГц составляют порядка -5 дБ, что свидетельствует о низкой эффективности данных материалов для экранирования ЭМИ РЧ, для уменьшения коэффициента пропускания необходимо уменьшать расстояние

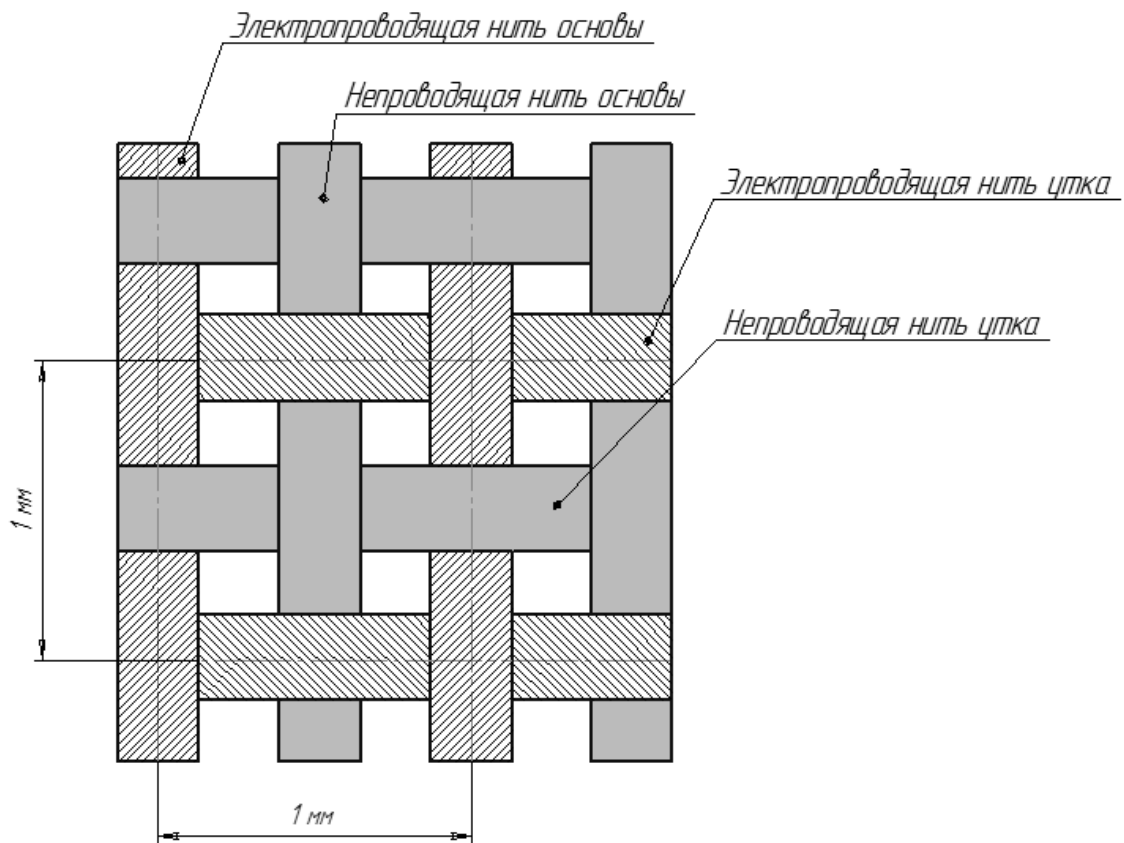


Рисунок 2 – Схема ячейки, образованной токопроводящими нитями основы и утка

между электрорободящими нитями.

На рисунке 3 представлена собственная эмпирическая зависимость коэффициента прохождения ЭМИ с частотой 10 и 16 ГГц от размера квадратной ячейки, образованной медной посеребренной проволокой диаметром 0,05 мм. Установлено, что с увеличением частоты с 10 до 16 ГГц при использовании ячейки со стороной 0,5 мм коэффициент прохождения увеличивается на 5–6 дБ. Для обеспечения коэффициента прохождения на уровне -30 дБ при частоте 10 ГГц достаточно использовать ткань со стороной ячейки 0,5 мм, а при увеличении частоты до 16 ГГц сторону ячейки необходимо уменьшить до 0,3 мм.

Несмотря на то, что большинство экранирующих тканей содержат ячейку из токопроводящих нитей квадратной формы, существуют альтерна-

тивные подходы к решению данной проблемы. Так из работ российских ученых (Беляев О.Ф., Заваруев В.А., Кудрявин Л.А., Подшивалов С.Ф., Халиманович В.И.) [4] известно об использовании трикотажных сетеполотен из металлической микропроволочки, которые могут быть использованы в конструкциях трансформируемых космических или наземных антенн в качестве отражающей поверхности.

Авторами показано, что существует эмпирическая зависимость между длиной электромагнитной волны и размером стороны ячейки трикотажного сетеполотна. Размер стороны ячейки можно определить, как: $\lambda/(10...20)$, где: λ – длина волны излучения.

Стоит отметить, что ткани, включающие непрерывные высокоэлектропроводящие нити, имеют существенное преимущество по сравнению с

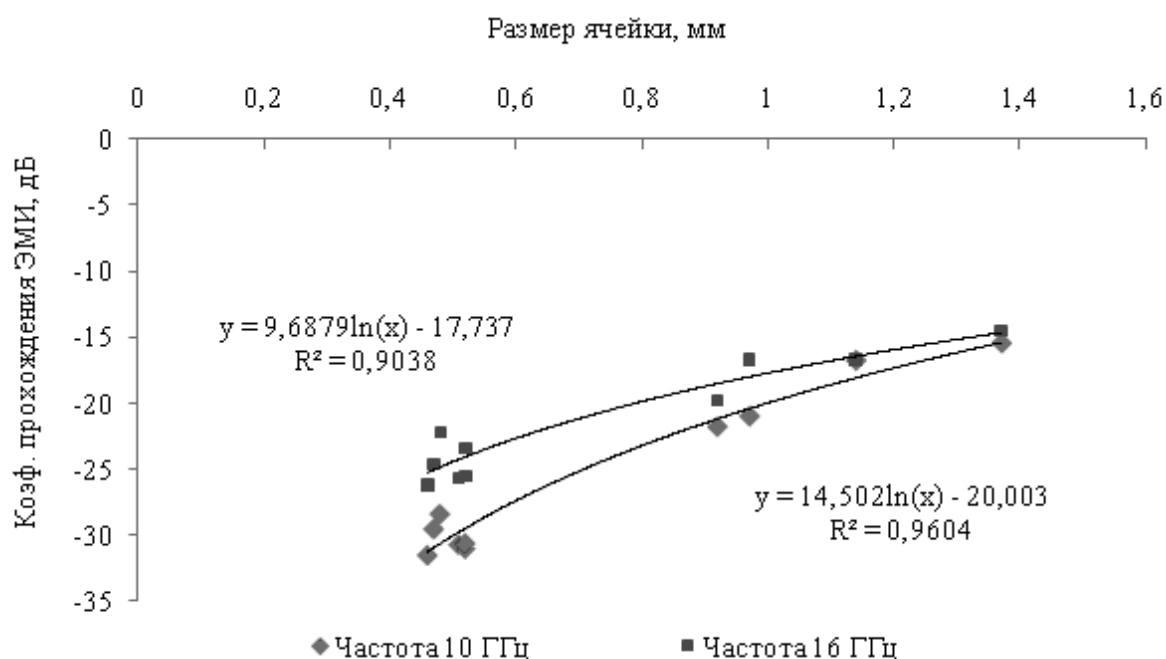


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента прохождения ЭМИ от размера ячейки между нитями, содержащими медную проволоку

металлизированными с поверхности (способом магнетронного напыления или гальваническим способом нанесения металлического покрытия) тканями, поскольку они имеют устойчивые защитные свойства, и могут подвергаться физико-химическим воздействиям, в частности, химическим чисткам и стиркам.

Из результатов собственных исследований известно, что в местах пересечения нитей основы и утка наблюдается отсутствие металлического покрытия при металлизации ткани с поверхности тем или иным способом, что негативно влияет на надежность электрических контактов и может привести к ухудшению проводимости ткани.

На рисунке 4 представлены фотографии различных нитей и пряжи, извлеченных из тканей саржевого и полотняного переплетений, металлизированных гальваническим способом.

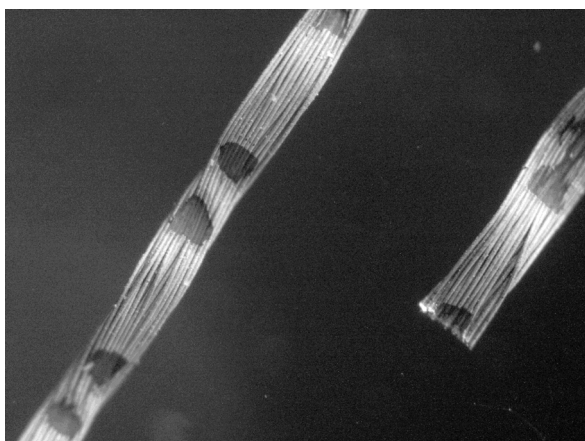
Таким образом, наиболее эффективным представляется использование в структурах экранирующих тканей специальных комбинированных нитей, сочетающих свойства огне-

термостойкости (по требованию Заказчиков), высокой электропроводности, способности быть переработанными на существующем технологическом оборудовании. Подобные комбинированные нити могут быть изготовлены на тростильно-крутильных или крутильно-оплеточных машинах путем скручивания или обкручивания непроводящего компонента (нити или пряжи) токопроводящей металлической микропроволокой диаметром от 30 до 60 *мкм*.

Объекты исследования

Далее проведем исследование радиотехнических характеристик образцов тканей, изготовленных с учетом изложенных выше принципов. Для изготовления тканей были использованы следующие виды исходного сырья:

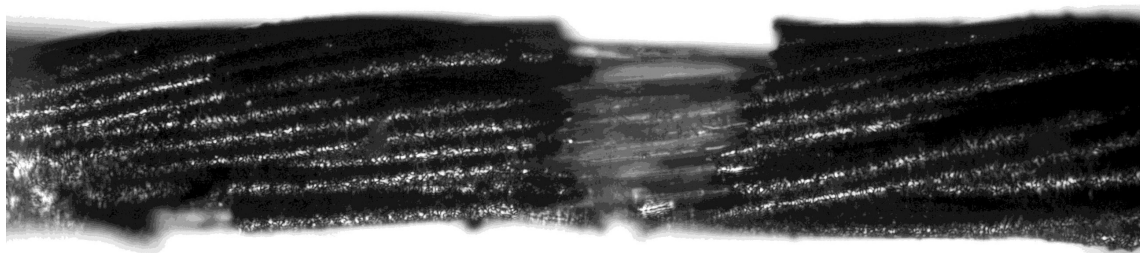
- пряжа смесовая метаарамид/сталь 70/30 % Nm 60/2 (16,7х2 *текс*);
- пряжа смесовая метаарамид/сталь 52/48 % Nm 40/2 (25х2 *текс*);
- нить мишурная 43 *текс* с сердечником из пряжи метаарамидной Nm 60/1 (16,7 *текс*) и оплеткой из медной плющеной посеребренной



а



б



в

Рисунок 4 – Нить Арамид 11,1 **текс** (а), пряжа Арселон 29 **текс** (б), нить полиэфирная 5 **текс** (в), извлеченные из металлизированных тканей саржевого и полотняного переплетений

проволоки 2 ППС 0,05 **мм**;

г) нить мишурная 52 **текс** с сердечником из пряжи смесовой метаарамид/сталь 52/48 % Nm 40/1 (25 **текс**) и оплеткой из медной плющенной посеребренной проволоки 2 ППС 0,05 **мм**;

д) нить мишурная 43 **текс** с сердечником из пряжи метаарамидной Nm 60/1 (16,7 **текс**) и оплеткой из круглой посеребренной медь-ниобиевой (сплав *Cu-Nb*) проволоки ПМПЭ-МН-6-Ср5 0,06 **мм**;

е) стальная нержавеющая проволока диаметром 0,035 **мм**.

На рисунке 5 представлены фотографии пряжи смесовой с вложением стальных волокон (Inox) и нити мишурной с оплеткой из медной плющенной проволоки.

В таблице 1 представлен перечень с описанием образцов экранирующих тканей, которые

были выбраны для изучения радиотехнических характеристик. Сочетание в ткани стальных волокон (в составе пряжи) и медных посеребренных проволок (в составе мишурной нити) по нашему мнению должно способствовать повышению ее экранирующей способности за счет высокой электропроводности меди и наличия магнитных свойств у стали.

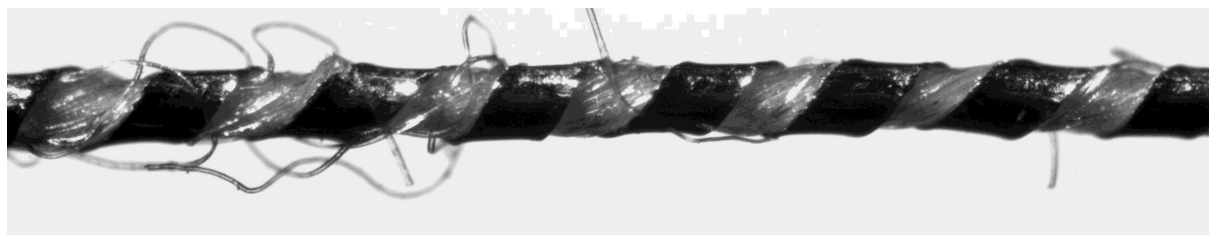
Методы испытаний

За помощь в проведении измерений радиотехнических характеристик тканей выражаем благодарность коллективу ООО НПП «Радиострим» и заведующему лаборатории ИБХФ РАН к.ф.-м.н. С.Б. Бибикову:

1. Измерения в диапазоне частот от 300 **кГц** до 7 **ГГц** проводились на лабораторном стенде, на базе измерителя комплексных коэффициентов передачи, сопряженного с компьютерной си-



а



б

Рисунок 5 – Фотографии электропроводящих нитей: а) смесовая пряжа, содержащая стальные волокна в количестве 30 %; б) мишурная нить с сердечником из пряжи и оплеткой из медной посеребренной плющеной проволоки

стемой регистрации и обработки сигнала. Образцы помещались в коаксиальную измерительную ячейку сечением 16/6,95 мм, согласованную с коаксиальным измерительным трактом и включенную в режим измерения ослаблений (пропускания). Трак обеспечивает распространение волны ТЕМ-моды. После помещения ячейки с образцом в измерительный тракт определялись соответствующие коэффициенты прохождения $K_{пр}$ ЭМИ через испытуемый образец.

2. Измерения на частотах 10 и 16 ГГц проводились в секциях прямоугольных волноводов 23×10 мм и 16×8 мм, соответственно, на основной моде Н10, при нормальном падении электромагнитной волны на образец, полностью заполняющий сечение тракта.

3. В результате измерений определялись значения коэффициентов поглощения ($K_{погл}$), отражения ($K_{отр}$) и пропускания ($K_{пр}$). Коэффициент поглощения $K_{погл}$ рассчитывался из условия энергетического баланса по данным $K_{пр}$ и $K_{отр}$.

Обсуждение результатов

В таблице 2 представлены усредненные по частотному диапазону 300 кГц...7 ГГц величины коэффициентов прохождения ($K_{прох}$), отражения ($K_{отр}$) и поглощения ($K_{погл}$) ЭМИ через образцы исследуемых тканей. Данные усреднены по направлению вектора $\mathbf{E}$ вследствие структуры электрического поля в тракте.

В таблице 3 представлены значения коэффициентов прохождения ($K_{прох}$), отражения ($K_{отр}$) и поглощения ($K_{погл}$), определённые в волноводных трактах на фиксированных частотах 10 и 16 ГГц. Данные приведены для двух поляризационных положений ($\parallel$, $\perp$), которые соответствуют направлению систем нитей основы и утка.

При анализе данных таблицы 2 установлено, что все образцы тканей (кроме образца № 7) имеют коэффициент прохождения менее -30 дБ, что свидетельствует об высоких экранирующих свойствах во всем диапазоне частот 300 кГц...7 ГГц, при этом экранирование ЭМИ

Таблица 1 – Перечень образцов экранирующих тканей для испытаний радиотехнических характеристик

№ обр.	Описание структуры ткани и чередование нитей	Поверхностная плотность, г/м ²	Шаг элпрвод. нитей, мм	Переплетение
1	Основа: пряжа (а); Уток: пряжа (а).	183	0,32*0,46	Саржа 1/2
2	Основа: мишура (в) / пряжа (а) 1 к 2; Уток: мишура (в) / пряжа (а) 1 к 1.	204		
3	Основа: пряжа (а); Уток: мишура (в) / пряжа (а) 1 к 1.	194		
4	Основа: пряжа (а); Уток: мишура (в).	204		
5	Основа: мишура Cu-Nb (д) / пряжа (а) 1 к 2; Уток: мишура Cu-Nb (д) / пряжа (а) 1 к 1.	210		
6	Основа: пряжа (а); Уток: мишура Cu-Nb (д) / пряжа (а) 1 к 1.	199		
7	Основа: пряжа (а); Уток: пряжа (а).	175	0,33*0,52	Плотняное
8	Основа: стальная проволока 0,035 мм (е); Уток: стальная проволока 0,035 мм (е).	55	0,26*0,28	Плотняное
9	Основа: мишура (в); Уток: мишура (в).	159	0,53*0,54	Саржа 2/2
10	Основа: мишура (в); Уток: мишура (в).	185	0,52*0,41	
11	Основа: мишура (г) / пряжа (б) 1 к 1; Уток: мишура (г) / пряжа (б) 1 к 1.	223	0,40*0,49	Саржа 1/2
12	Основа: мишура (в) / пряжа (б) 1 к 1; Уток: мишура (в) / пряжа (б) 1 к 1.	200	0,45*0,53	Саржа 1/2
13	Основа: мишура Cu-Nb (д) / пряжа (б) 1 к 1; Уток: мишура Cu-Nb (д) / пряжа (б) 1 к 1.	199		

происходит за счет высокой степени отражения ($K_{отп} = 88...99,7\%$).

Минимальный коэффициент прохождения в **дБ** (максимальная степень экранирования) достигнут для образцов № 11–13, в данных образцах в основе и утке использована смесовая пряжа метаарамид/сталь 52/48 % в чередовании 1 к 1 с мишурными нитями с медной проволокой.

При анализе данных таблицы 3 установлено, что все образцы тканей (кроме образца № 9) имеют коэффициент прохождения менее -30 **дБ**, что свидетельствует об высоких экранирующих свойствах на частотах 10 и 16 **ГГц**, при этом экранирование ЭМИ происходит за счет

высокой степени отражения ($K_{отп} = 91...99\%$).

Минимальный коэффициент прохождения в **дБ** достигнут для образцов № 11–13, в которых использована смесовая пряжа метаарамид/сталь 52/48 % в чередовании 1 к 1 с мишурными нитями с медной проволокой. Максимальные коэффициенты прохождения (наименьшая степень экранирования) наблюдались для образцов № 8–10, которые представляют собой сетчатые структуры либо только из мишурных нитей с медной проволокой (№ 9 и 10) либо полностью из микропроволоки (№ 8).

На рисунке 6 представлены примеры частотных зависимостей коэффициента прохождения и отражения ЭМИ для образцов тканей № 2–4 в

Таблица 2 – Результаты измерения радиотехнических характеристик тканей для экранирования ЭМИ РЧ, усредненные по диапазону 300 кГц...7 ГГц (длина волны от 1 км до 43 мм)

№ Обр.	Усреднение по диапазону от 300 кГц до 7 ГГц				
	$K_{\text{прох}}$		$K_{\text{отр}}$		$K_{\text{погл}}$
	%	дБ	%	дБ	%
1	0,063	-32,0	-	-	-
2	0,056	-32,5	93,8	-0,28	6,2
3	0,073	-31,4	93,5	-0,29	6,4
4	0,039	-34,1	88,0	-0,56	12,0
5	0,099	-30,0	93,3	-0,30	6,6
6	0,066	-31,8	92,9	-0,32	7,0
7	0,157	-28,0	89,5	-0,48	10,3
8	0,051	-32,9	96,0	-0,18	4,0
9	0,069	-31,6	98,2	-0,08	1,7
10	0,025	-36,1	99,7	-0,02	0,3
11	0,005	-43,2	98,2	-0,08	1,8
12	0,003	-44,8	98,3	-0,07	1,7
13	0,006	-42,1	98,1	-0,08	1,9

линейном и логарифмическом масштабе. Видно, что в области малых частот излучения (300 кГц) коэффициент прохождения достигает минимальных значений (-70...-80 дБ), далее с увеличением частоты происходит увеличение $K_{\text{прох}}$ с достижением максимальных значений (около -30 дБ) на частотах 2–3 ГГц (15–10 см), после чего с увеличением частоты излучения рост $K_{\text{прох}}$ замедляется и сменяется снижением. Представленные частотные зависимости достаточно полно характеризуют поведение практически всех тканей, рассмотренных в данной работе.

На рисунке 7 представлены фотографии поверхности образцов тканей № 1, 2, 8 и 10. С учетом выводов, сделанных при анализе таблиц 2 и 3 можно заключить, что для достижения максимальной экранирующей способности ЭМИ РЧ (что в данном случае эквивалентно минимуму коэффициента прохождения) необходимо ис-

пользовать высоконаполненную ткань из смесовой пряжи с содержанием стальных волокон на уровне 50 % с включением в ее структуру мисурных нитей с медной плющеной проволокой.

Таким образом, по результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

- установлено, что однослойные тканые структуры позволяют обеспечить эффективную защиту от ЭМИ РЧ за счет высокой степени отражения ($K_{\text{отр}} = 88...99\%$) – принцип клетки Фарадея. При этом при необходимости, чередуя между собой ткани с различным коэффициентом отражения и поглощения в составе пакета, можно реализовать эффект многократного внутреннего отражения;

- установлено, что экранирующие свойства тканей можно варьировать, изменяя геометрию ячейки, образованной токопроводящими нитями основы и утка. Установлено, что существует зависимость между длиной электромагнитной волны

Таблица 3 – Результаты измерения радиотехнических характеристик тканей для экранирования ЭМИ РЧ на частотах 10 и 16 ГГц (длина волны 30 и 19 мм)

№ Образца	Поляризация	Частота 10 ГГц					Частота 16 ГГц				
		$K_{\text{прох}}$		$K_{\text{отр}}$		$K_{\text{погл}}$	$K_{\text{прох}}$		$K_{\text{отр}}$		$K_{\text{погл}}$
		%	дБ	%	дБ	%	%	дБ	%	дБ	%
1		0,01	-42,0	94,1	-0,26	5,9	0,03	-35,8	92,9	-0,32	7,1
	⊥	0,01	-42,7	93,5	-0,29	6,5	0,01	-38,8	93,9	-0,28	6,1
2		0,003	-45,7	96,5	-0,15	3,5	0,008	-41,0	95,3	-0,21	4,7
	⊥	0,013	-38,8	95,4	-0,21	4,6	0,014	-38,5	92,7	-0,33	7,3
3		0,007	-41,5	95,1	-0,22	4,9	0,032	-35,0	94,8	-0,23	5,2
	⊥	0,017	-37,6	94,1	-0,26	5,9	0,013	-39,0	92,0	-0,36	8,0
4		0,009	-40,6	94,5	-0,25	5,5	0,023	-36,4	94,9	-0,23	5,1
	⊥	0,098	-30,1	93,9	-0,28	6,1	0,1	-30,0	91,3	-0,39	8,6
5		-	-45,0	95,3	-0,21	4,7	-	-39,3	93,9	-0,27	6,1
	⊥	-	-37,0	93,0	-0,32	7,0	-	-35,8	92,3	-0,35	7,7
6		-	-40,7	95,9	-0,18	4,1	-	-37,7	94,4	-0,25	5,5
	⊥	-	-37,4	92,9	-0,32	7,1	-	-39,2	91,4	-0,39	8,6
7		-	-40,8	94,6	-0,24	5,4	-	-38,2	93,7	-0,28	6,3
	⊥	-	-37,5	92,2	-0,35	7,7	-	-36,6	91,0	-0,41	8,9
8		0,023	-36,3	97,1	-0,13	2,9	0,039	-34,1	93,0	-0,32	7,0
	⊥	0,1	-29,9	96,6	-0,15	3,3	0,093	-30,3	94,3	-0,26	5,7
9		0,07	-31,7	99,3	-0,03	0,6	0,22	-26,6	98,8	-0,05	1,0
	⊥	0,15	-28,3	99,1	-0,04	0,8	0,2	-27,0	97,5	-0,11	2,3
10		0,08	-30,9	98,8	-0,05	1,1	0,23	-26,3	98,4	-0,07	1,4
	⊥	0,03	-35,6	99,2	-0,03	0,7	0,06	-32,4	98,8	-0,05	1,1
11		0,003	-45,7	96,8	-0,14	3,2	0,008	-40,8	95,4	-0,20	4,6
	⊥	0,001	-49,9	96,6	-0,15	3,4	0,002	-47,2	93,4	-0,30	6,6
12		0,007	-41,6	97,1	-0,13	2,9	0,009	-40,4	91,0	-0,41	8,9
	⊥	0,002	-47,0	97,3	-0,12	2,7	0,002	-47,0	93,1	-0,31	6,9
13		0,002	-46,8	95,1	-0,22	4,9	0,001	-52,3	92,4	-0,34	7,6
	⊥	0,007	-41,3	94,3	-0,26	5,7	0,01	-40,2	93,9	-0,28	6,1

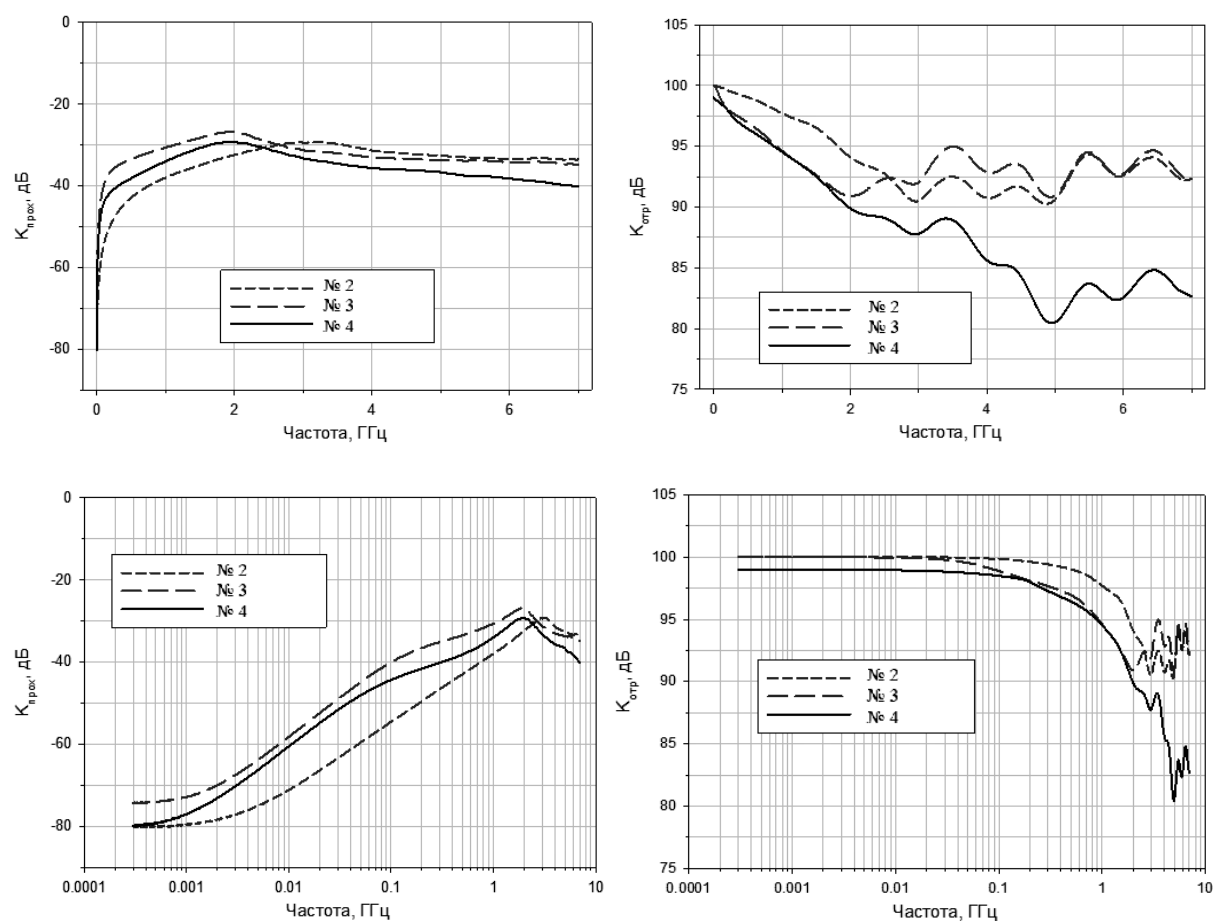


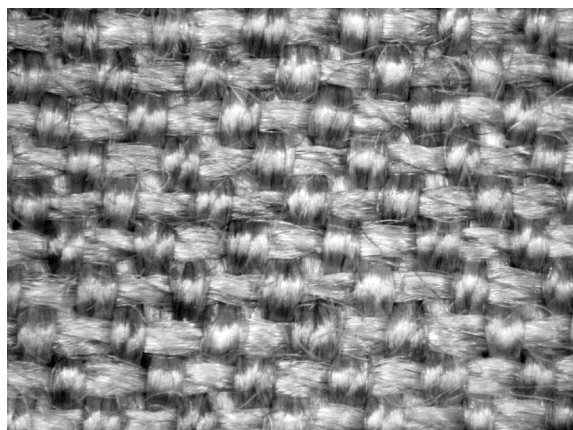
Рисунок 6 – Примеры частотных зависимостей коэффициента прохождения (слева) и отражения (справа) ЭМИ для образцов тканей № 2, 3, 4 в линейном (вверху) и логарифмическом (внизу) масштабе

и размером стороны ячейки, необходимым для отражения волны;

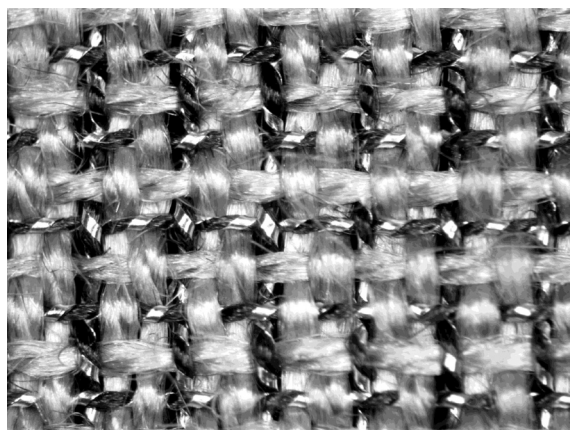
– установлено, что для эффективного экранирования в структуре ткани могут быть использованы смесовые пряжи с различным процентом вложения стальных волокон и комбинированные (мишурные) электропроводящие нити, которые должны содержать в качестве оплетки металлическую проволоку с малым сопротивле-

нием (медь и ее сплавы, сталь);

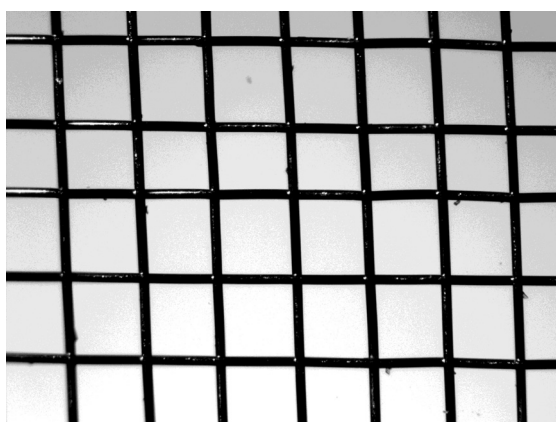
– установлено, что разработанные ткани с поверхностной плотностью от 55 до 220 г/м^2 являются эффективным средством защиты от электромагнитного излучения радиочастотного диапазона (от 300 кГц до 16 ГГц), так как имеют коэффициент прохождения равный или менее -30 дБ .



а



б



в



г

Рисунок 7 – Примеры фотографий экранирующих тканей: а) образец 1; б) образец 2; в) образец 8; г) образец 10

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Rybicki, T., Brzezinski, S., Lao, M., Krawczynska, I. (2013), Modeling Protective Properties of Textile Shielding Grids Against Electromagnetic Radiation, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2013, № 1 (97), pp. 78–82.
2. Brzezinski, T., Rybicki, T., Malinowska, G., Karbownik, I., Rybicki, E., Lech Szugajew, L. (2009), Effectiveness of Shielding Electromagnetic Radiation, and Assumptions for Designing the

REFERENCES

1. Rybicki, T., Brzezinski, S., Lao, M., Krawczynska, I. (2013), Modeling Protective Properties of Textile Shielding Grids Against Electromagnetic Radiation, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2013, № 1 (97), pp. 78–82.
2. Brzezinski, T., Rybicki, T., Malinowska, G., Karbownik, I., Rybicki, E., Lech Szugajew, L. (2009), Effectiveness of Shielding Electromagnetic Radiation, and Assumptions for Designing the

Multi-layer Structures of Textile Shielding Materials, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 1 (72), pp. 60–65.

3. Сафонов, П. Е., Левакова, Н. М., Юхин, С. С. (2020), Проектирование структуры и выбор сырьевого состава экранирующей ткани для спецодежды, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2020, № 1 (385), С. 150–155.

4. Беляев, О. Ф., Заваруев, В. А. (2014), Выбор материала микропроволоки для вязания отражающей поверхности крупногабаритных трансформируемых антенн. Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ-2014), *Сборник материалов Международной научно-технической конференции. Часть 1*, Москва, 2014, С. 56–58.

Multi-layer Structures of Textile Shielding Materials, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 1 (72), pp. 60–65.

3. Safonov, P. E., Levakova, N. M., Yukhin, S. S. (2020), Design of the structure and selection of the raw material composition of the shielding fabric for workwear [Proektirovanie struktury i vybor syr'evogo sostava jekranirujushhej tkani dlja specodezhdy], *Proceedings of higher educational institutions. Textile industry technology*, 2020, № 1 (385), pp. 150–155.

4. Belyaev, O. F., Zavaruyev, V. A. (2014), The choice of microwire material for knitting the reflective surface of large-sized transformable antennas [Vybor materiala mikroprovoloiki dlja vjazaniya otrazhajushhej poverhnosti krupnogabaritnyh transformiruemyh antenn], Design, technologies and innovations in the textile and light industry (INNOVATIONS-2014), *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference. Part 1*, Moscow, 2014, pp. 56–58.

Статья поступила в редакцию 11. 12. 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛАГОРЕГУЛИРУЮЩИХ СВОЙСТВ ДВУХСЛОЙНЫХ ТРИКОТАЖНЫХ СТРУКТУР ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОДЕЖДЫ

STUDY OF MOISTURE-REGULATING PROPERTIES OF DOUBLE-LAYER KNITTED STRUCTURES FOR FUNCTIONAL CLOTHING

УДК 677.017.8

Н.В. Скобова*, Н.Н. Ясинская, А.С. Воробьева*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-49-58>**N. Skobova*, N. Yasinskaya, A. Vorobyova***Vitebsk State Technological University*

РЕФЕРАТ

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ НИТИ, ВЛАГОПЕРЕНОС, ПАРПРОНИЦАЕМОСТЬ, ПАРОЕМКОСТЬ, СКОРОСТЬ ДИФфуЗИИ, КРИВЫЕ СКОРОСТИ СУШКИ

Влагорегулирующие свойства трикотажных полотен являются важными факторами, определяющими не только комфорт, но и характеристики функциональной одежды. Двухслойные трикотажные полотна используются из-за их уникальных транспортных свойств, таких как паропроницаемость, воздухопроницаемость, свойства влагопереноса. Целью исследования является сравнительная оценка влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных материалов, отличающихся функциональностью применяемых нитей.

Разработаны двухслойные трикотажные структуры комбинированного переплетения на базе ластика на двухфонтурной кругловязальной машине с использованием в одном из слоев функциональных нитей: с функцией управления влаги, микрофиламентной полиэфирной нити (Quick Dry линейной плотности 18,7 **текс** (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 **текс** (f288)). Проведены исследования паропроницаемости и пароемкости полотен гравиметрическим методом. Кинетические кривые поглощения паров воды показали, что на начальном этапе исследований высокую скорость поглощения паров за короткий промежуток времени имеют полотна с вложением микрофиламентной нити. Получены теоретико-экспериментальные зависимости паропроницаемости полотен от времени

ABSTRACT

FUNCTIONAL THREADS, MOISTURE TRANSFER, VAPOR PERMEABILITY, VAPOR CAPACITY, DIFFUSION RATE, DRYING RATE CURVES

The moisture-regulating properties of knitted fabrics are important factors that determine not only comfort, but also the characteristics of functional clothing. Double-layer knitted fabrics are used because of their unique transport properties such as vapor permeability, breathability, moisture transfer properties. Double-layer knitted structures of a combined weave based on an eraser were developed on a double-loop circular knitting machine using functional threads in one of the layers: with a moisture management function, a microfilament polyester thread (Quick Dry with a linear density of 18.7 **tex** (f144), a microfilament Soft thread of 16.7 **tex** (f288)). The vapor permeability and vapor capacity of canvases were studied by the gravimetric method. The kinetic curves of water vapor absorption showed that at the initial stage of research, fabrics with a microfilament thread had a high rate of vapor absorption in a short period of time. Theoretical and experimental dependences of the vapor permeability of fabrics on the time of contact with a source of moisture vapor have been determined. To assess the ability of a two-layer knitted material to conduct moisture through itself, studies were carried out on the evaporation rate of a drop of moisture liquid from the surface of knitted fabrics. It has been determined that the microporous structure of the functional thread layer creates an open evaporation surface area, which reduces the evaporation time; on the curves of the

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

контакта с источником паров влаги. Для оценки способности двухслойного трикотажного материала проводить через себя влагу проведены исследования скорости испарения капли жидкости влаги с поверхности трикотажных полотен. Установлено, что микропористая структура слоя из функциональной нити создает открытую площадь поверхности испарения, что сокращает время испарения, на кривых скорости сушки трикотажа с использованием нити Quick Dry отмечается наличие второй критической точки, указывающей на испарение адсорбционно связанной влаги из боковых капилляров элементарных нитей, что замедляет процесс испарения. Полученные полотна могут быть рекомендованы для применения в качестве материалов первого и второго слоя одежды.

drying rate of knitwear using a Quick Dry thread, the presence of a second critical point is noted, indicating the evaporation of adsorption-bound moisture from the side capillaries of elementary filaments, which slows down the evaporation process. The produced fabrics can be recommended for use as materials for the first and second layers of clothing.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из задач, стоящих в настоящий момент перед текстильной промышленностью Республики Беларусь – оптимизация ассортимента выпускаемой продукции и улучшение ее качества за счет использования функционального сырья. Это в особенности касается одежды для активного отдыха, внутренней одежды и спортивной одежды.

При изменении физической активности владельца и внешней среды функциональная одежда создает стабильный микроклимат рядом с кожей. Регулирование климата достигается за счет морфологии волокон текстильной структуры материалов [1]. Многослойные трикотажные полотна в отличие от однослойных, подходят для функциональных и технических целей, они чаще используются при производстве готовых изделий из-за их уникальных транспортных свойств, таких как паропроницаемость, воздухопроницаемость, теплопроводность и свойства управления влажностью [2, 3].

Влагорегулирующие свойства (паропроницаемость, диффузия капельной влаги, скорость испарения) трикотажных полотен являются важными факторами, определяющими не только комфорт, но и характеристики функциональной одежды. Комфорт определяется тем, как одежда

взаимодействует с телом в отношении рассеивания тепла и влаги, образующихся в результате метаболических процессов [2]. Для человека, занимающегося обычной повседневной деятельностью в помещении, затрачиваемая энергия составляет $50 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{ч}$. Образовавшееся метаболическое тепло легко рассеивается через одежду в виде пота [4].

В состоянии покоя тело выделяет около 60 мл водяного пара в час в условиях окружающей среды. Умеренная нагрузка (ходьба) увеличит количество примерно до 450 мл в час. Во время спортивной деятельности, например, езды на велосипеде, метаболическое тепло увеличивается в шесть раз, а выделение пота увеличивается в 14 раз (840 мл). Во время потоотделения влага человеческого тела более или менее поглощается текстильной одеждой. Если влага остается в ткани и не транспортируется на поверхность для испарения, охлаждение не может происходить. Тело нагревается и выделяется еще больше пота.

Таким образом, материал, контактирующий с кожей, должен обладать двумя важными свойствами: первоначальным – паропроницаемостью и воздухопроницаемостью, вторичным – высокими транспортными свойствами для передачи впитанной влаги в атмосферу и создания

комфортных условий для пользователя [5].

Целью исследования является сравнительная оценка влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных материалов, отличающихся функциональностью применяемых нитей.

Объект исследований

На кафедре экологии и химических технологий ведется работа по получению трикотажных армирующих структур для производства одежды для активного отдыха с заданными функциональными свойствами [6].

Разработаны двухслойные трикотажные структуры комбинированного переплетения на базе ластика на двухфонтурной кругловязальной машине с использованием в его структуре функциональных нитей производства ОАО «СветлогорскХимволокно» [7, 8]. На иглы верхней иглоплетильной прокладывались функциональные нити (Quick Dry линейной плотности 18,7 **текс** (f144), микрофиламентная нить Soft 16,7 **текс** (f288)), на иглы нижней – традиционная полиэфирная нить PEC 16,7 **текс** (f48). Для сравнения нарабатывали контрольный образец из традиционной полиэфирной нити в двух слоях. В результате получены варианты:

- образец Quick Dry/PEC с содержанием в одном из слоев функциональной нити Quick Dry, имеющей в своей структуре элементарные нити с тетраканальным профилем поперечного сечения, во втором слое – традиционной полиэфирной нити (PEC);

- образец Soft/PEC с содержанием в одном слое микрофиламентной нити Soft (линейная плотность элементарной нити (ЭН) 0,058 **текс**), во втором – традиционной полиэфирной нити (PEC);

- образец PEC/PEC – два слоя сформированы из полиэфирной нити PEC.

Слои соединялись соединительными накидами, расположенными в шахматном порядке. Такая структура позволяет получить трикотажное полотно с четким разделением функциональных слоев.

Полотна имели разную толщину и близкую поверхностную плотность (таблица 1). Более пористую структуру, согласно расчету, имеет образец PEC/PEC.

Методы исследований

Для определения паропроницаемости и пароёмкости полотен использован гравиметрический метод, реализованный с помощью испытательного комплекта Sampler-2000, прилагающегося к анализатору влажности Radwag M-50.

При изучении диффузии паров через двухслойную структуру полотна образец располагали функциональным слоем вниз, ближе к источнику капельной влаги (моделирование контакта с телом человека). По результатам проведения испытаний рассчитывали:

– коэффициент паропроницаемости, $\text{мг}/\text{см}^2 \cdot \text{ч}$

$$MVTR = \frac{m_1 - m_2}{S \cdot t}, \quad (1)$$

где m_1 – начальная масса дистиллированной воды в чаше, мг; m_2 – конечная масса дистиллированной воды в чаше, мг; S – площадь поверхности образца, см^2 ; t – время испытания, ч;

– относительную паропроницаемость, %:

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_{01} - m_{02}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

Таблица 1 – Структурные характеристики трикотажных полотен

Образец	Длина нити в петле, мм	Объемная плотность образца, $\text{мг}/\text{мм}^3$	Толщина, мм	Поверхностный модуль петли
Образец Quick Dry/PEC	4,6	0,240	1,14	0,372
Образец Soft/PEC	4,53	0,246	1,11	0,383
Образец PEC/PEC	4,45	0,235	1,23	0,395

где m_{01} – начальная масса дистиллированной воды в холостом испытании, $мг$; m_{02} – конечная масса дистиллированной воды в холостом испытании, $мг$.

При оценке пароемкости образцы материала высушивают в сушильном шкафу до абсолютно сухого веса (M_0). В чашу заливают фиксированный объем воды, после чего ее закрывают образцом, поверх которого кладут непроницаемый материал, обеспечивая полную герметичность чаши и проводят испытание при температуре в камере $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течении 1 часа. По истечении заданного интервала времени измеряют конечную массу образца (M_1). По результатам испытаний рассчитывали относительную пароемкость (Π_{eo} , $мг/мм^3$), характеризующую объемное заполнение образца парами влаги:

$$\Pi_{eo} = \frac{M_1 - M_0}{S \cdot \Delta}, \quad (3)$$

где Δ – толщина образца, $мм$.

Для оценки способности двухслойного трикотажного материала проводить через себя влагу проведены исследования скорости испарения капли жидкости влаги с поверхности трикотажных полотен. Для этого на стеклянную поверхность капали каплю жидкости определенного объема, сверху укладывали образец трикотажного полотна слоем с функциональной нитью вниз, далее снимали показания изменяющейся массы влажного образца, после чего рассчитывают коэффициент остаточной влаги $K_{ост}$ (%) в разные интервалы времени.

Результаты и обсуждения

По полученным экспериментальным данным проведен расчет коэффициента паропрооницаемости и построены кривые скорости диффузии паров через двухслойную трикотажную структуру (рисунок 1).

На кинетических кривых поглощения паров воды (рисунок 1) можно выделить два характерных участка. В первом периоде происходит интенсивное поглощение паров влаги материалом. Для двухслойного материала Soft/PEC этот

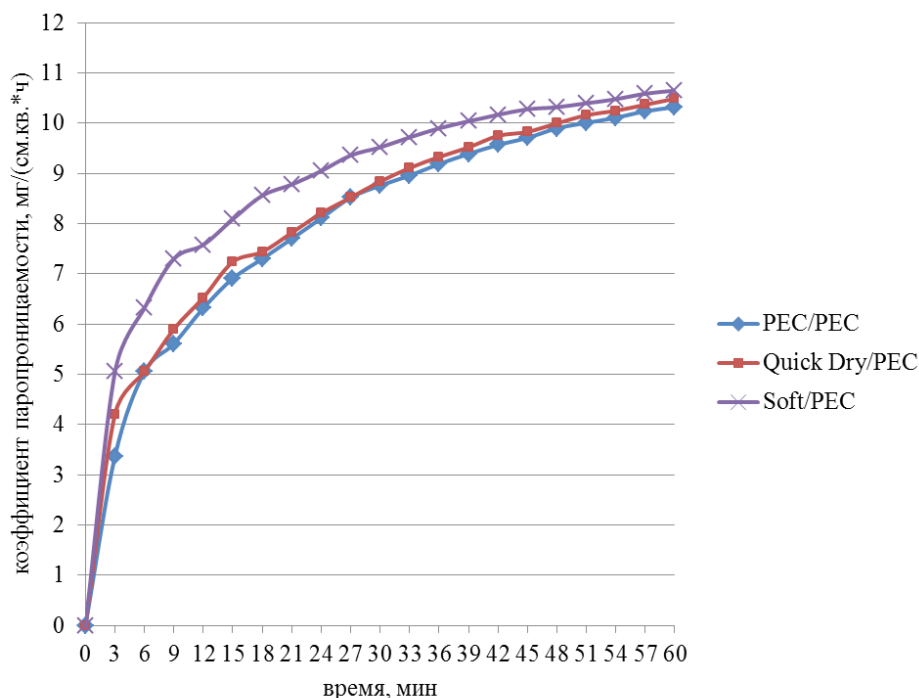


Рисунок 1 – Скорость диффузии паров через материал

период составляет 6 минут, для пакета Quick/PEC он более продолжителен и составляет 15 минут, а для полотен PEC/PEC из традиционной полиэфирной нити – 12 минут. Данный период отражает заполнение парами влаги легкодоступных мезо- и макропор в структуре материала. Во втором периоде наблюдается снижение скорости прохождения паров, при достижении 60 минут испытаний коэффициент практически не зависит от вида используемой функциональной нити.

Высокая начальная скорость сорбции характерна для образца Soft/PEC, пары воды интенсивно заполняют микрокапилляры, образованные межволоконным пространством. В течение первого получаса масса пройденных паров составила $9,5 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{с}$ для образца Soft/PEC, и $8,7 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{с}$ – для двух других. В последующие 30 минут испытаний скорость диффузии паров существенно снижается.

Получены теоретико-экспериментальные зависимости паропроницаемости полотен от времени контакта с источником паров влаги, позволяющие спрогнозировать коэффициент паропроницаемости в любой момент времени:

$$P_{P/P} = 0,395 - 3,62 \cdot t^2 + 13,22 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,997) \quad (4)$$

$$P_{Q/P} = 0,686 - 3,59 \cdot t^2 + 13,05 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,994) \quad (5)$$

$$P_{S/P} = 1,197 - 5,41 \cdot t^2 + 14,152 \cdot \sqrt{t} \quad (R^2=0,983) \quad (6)$$

Характер изменения паропроницаемости – степенной. Адекватность моделей подтверждается рассчитанным значением коэффициента детерминации. Высокие численные значения полученных коэффициентов регрессии в модели (6) указывают, что образец Soft/PEC благодаря микропористой структуре способен транспортировать увеличенный процент паров.

Свойство паропроницаемости зависит от параметров: толщины полотна, плотности материала и объемной плотности [9]. Согласно гео-

метрическим параметрам образцов (таблица 1) объемная плотность полотна с использованием микрофиламентной нити наибольшая из анализируемых, что и обуславливает высокую относительную паропроницаемость (рисунок 2). Наименьшим этот показатель является у полотна из традиционной полиэфирной нити, несмотря на большую толщину, образец характеризуется высоким значением поверхностного модуля петли.

Диффузия пара зависит от воздухопроницаемости образцов (рисунок 3). Благодаря пористой структуре, полотна из традиционного полиэфира характеризуются высокой воздухопроницаемостью.

Пароёмкость – это количество водяного пара, которое материал поглощает в течение определенного времени, выраженное в виде массы воды на единицу площади материала (рисунок 4).

По показателю относительной пароёмкости можно оценить, какой объем полотна занимает испаряемая жидкость. Наибольшим показателем пароёмкости обладает двухслойный материал Soft/PEC, его значение составляет $2,81 \text{ мг/(см}^3\text{)}$. У материала Quick/PEC значение показателя несколько ниже и составляет $2,73 \text{ мг/(см}^3\text{)}$. Наименьшая пароёмкость свойственна двухслойному материалу из традиционного полиэфира, его значение $2,36 \text{ мг/(см}^3\text{)}$. Полученные данные также коррелируют с ранее полученными данными по паропроницаемости.

Анализ кривых изменения коэффициента остаточной влаги при ее испарении в естественных условиях (рисунок 5) показывает, что двухслойные полотна с использованием функциональной нити Quick Dry, имеющие профилированную поверхность элементарных нитей, высыхают медленнее, так как влага удерживается за счет капиллярной конденсации и время испарения увеличивается до 60 минут. Полотна Soft/PEC высыхают 50 минут, микропористая структура слоя из функциональной нити создает открытую площадь поверхности испарения, что сокращает время испарения.

Для более детального анализа процесса испарения трикотажных полотен в естественных условиях построены кривые скорости испарения в анализируемом диапазоне времени (рисунок 6) [10]. Из графиков видно, кинетика процесса

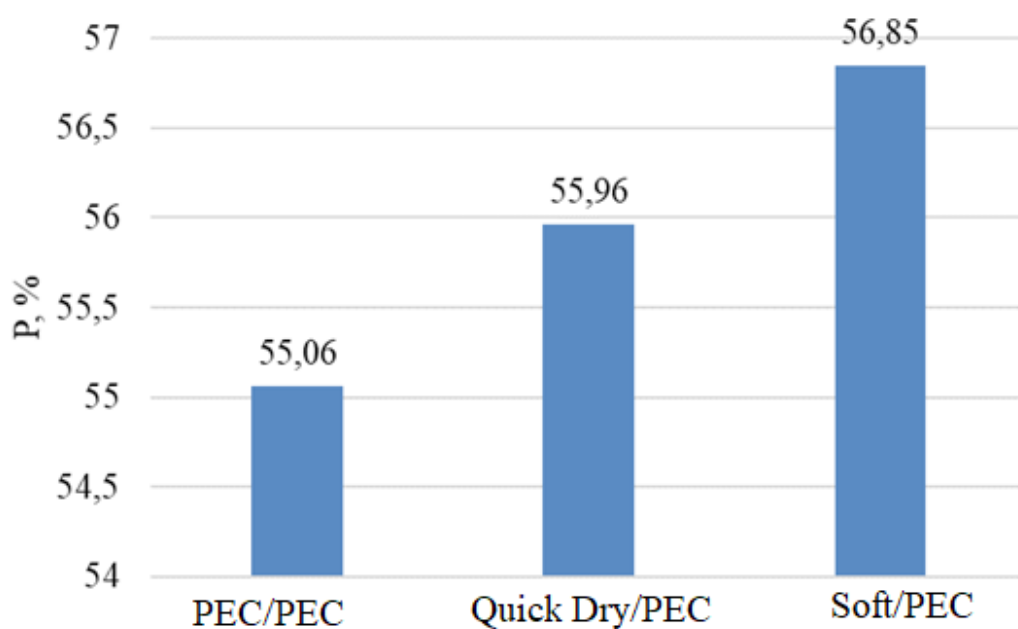


Рисунок 2 – Относительная паропроницаемость двухслойных материалов

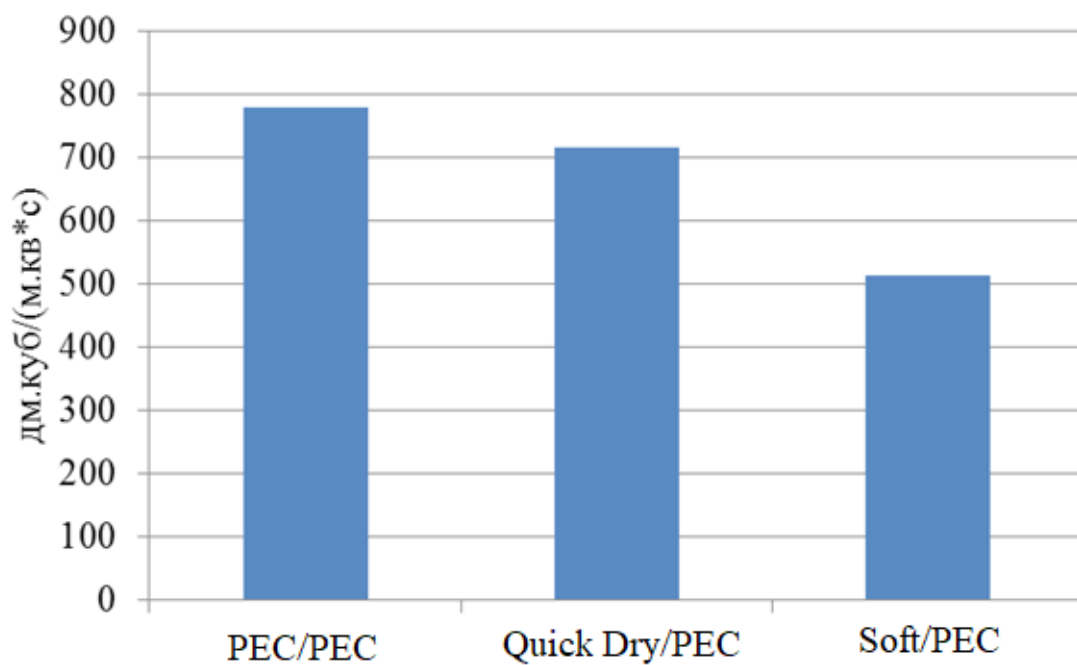


Рисунок 3 – Воздухопроницаемость двухслойных полотен

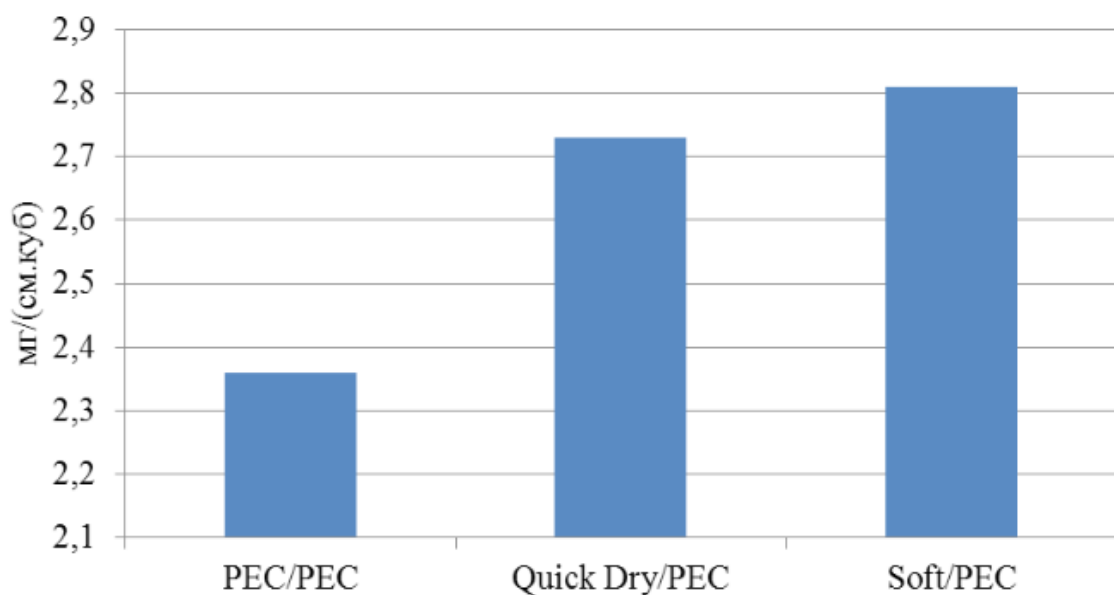


Рисунок 4 – Относительная пароемкость образцов

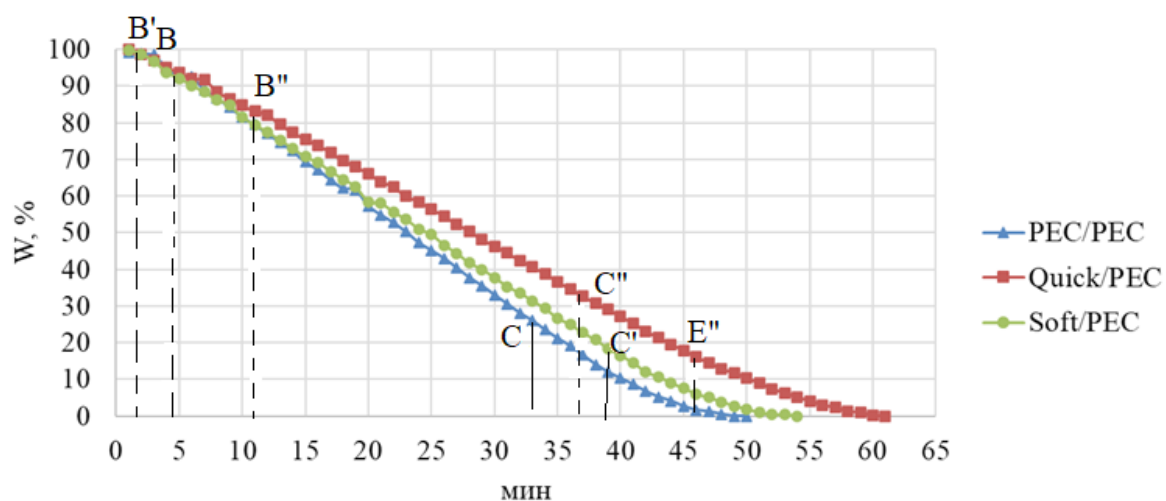


Рисунок 5 – Динамика изменения коэффициента остаточной влаги

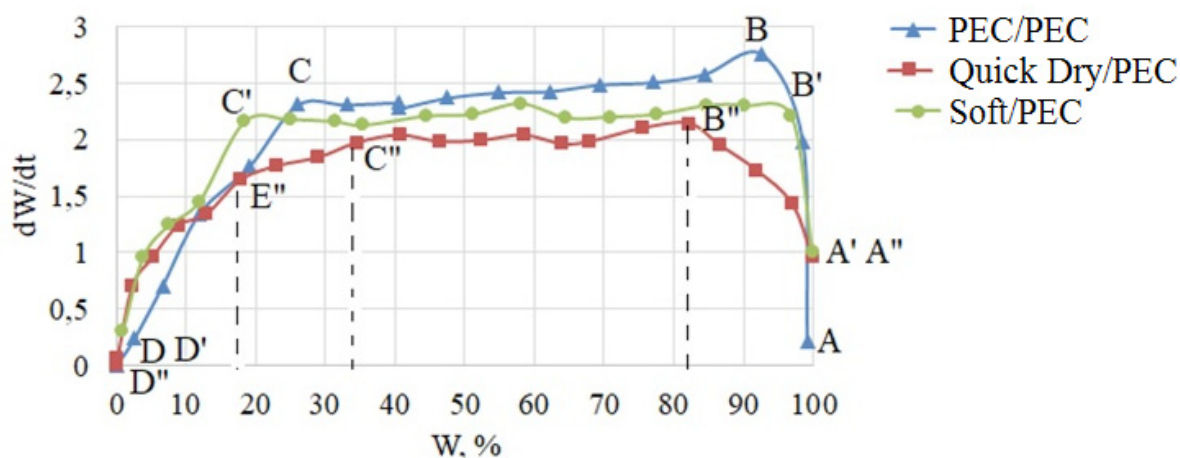


Рисунок 6 – Кривые скорости испарения в естественных условиях

различна для анализируемых видов трикотажа.

На начальном этапе испарения в течение небольшого промежутка времени (участок AB, A'B', A''B'') наблюдается период прогрева материала: 1,5 минуты для образца PEC/PEC, 3 минуты для Soft/PEC, более длительный период около 11 минут отмечается на образце Quick Dry/PEC, что сопряжено с необходимостью прогрева до температуры мокрого термометра жидкости, сконденсированной в боковых макрокапиллярах элементарных нитей Quick Dry.

На участке BC, B'C', отмечается период постоянной скорости сушки, влагосодержание материала уменьшается по линейному закону, капиллярная влага удаляется в течение 30–35 мин для образцов PEC/PEC и Soft/PEC, при этом первая критическая влажность образцов составляет соответственно $W_{кр1} = 26\%$ и 18% , для образца Quick Dry/PEC период постоянной скорости сушки B''C'' составляет 26 минут и $W_{кр1} = 33\%$.

В периоде падающей скорости сушки для образца PEC/PEC участок CD и для образца с микрофиламентной нитью участок C'D' имеет прямолинейный характер. Однако у двухслойного трикотажа с использованием профилированной нити Quick Dry этот участок имеет вторую критическую точку E'' ($W_{кр2} = 18\%$), на участке C''E'' происходит испарение адсорбционно связанной

влаги из боковых капилляров элементарных нитей.

Выводы

Проведены исследования влагорегулирующих свойств двухслойных трикотажных полотен с использованием функциональных нитей в одном из слоев полотна. Установлено, что количество и скорость прохождения паров и жидкой влаги через двухслойную структуру трикотажа зависят от вида используемой в полотне функциональной нити. Наличие элементарных нитей с тетраканальным профилем поперечного сечения в структуре функциональной нити Quick Dry, а также микрофиламентность нити Soft (линейная плотность ЭН 0,058 *текс*) способствует улучшению гигиенических свойств двухслойных полиэфирных трикотажных материалов. Проанализировав особенности влагорегулирующих свойств опытных образцов, можно рекомендовать использовать двухслойные полотна в качестве материалов для изготовления функциональной одежды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бузов, Б. А. (2010), *Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство)*, Москва, Академия, 448 с.
2. Kanakaraj, P. (2015), Active knit fabrics – functional needs of sportswear application, *Journal of Textile and apparel, Technology and management*, July, 2015, available at: <https://www.researchgate.net/publication/282267783>.
3. Mishra, R. et al (2021), Thermophysiological comfort of single jersey knitted fabric derivatives, *Fashion and Textiles*, 2021, Vol. 8, issue 1, available at: <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00266-5>.
4. Halavska, L., Batrak, O. (2018), Development & research on consumer properties of integrated two-layer weft knitted fabric from eco-raw materials, *Fibres and Textiles*, 2018, Vol. 2, P. 32–39.
5. Bhatia, D., Malhotra, U. (2016), Thermophysiological wear comfort of clothing: an overview, *Textile Science Engineering*, 2016, Vol. 6, issue 2, doi:10.4172/2165-8064.1000250.
6. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н. (2022), Исследование транспорта влаги в двухслойных трикотажных структурах из полиэфирных нитей под действием внешней нагрузки, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2022, № 6 (402), С. 39–45.
7. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н. (2023), Оценка функциональных свойств модифицированных полиэфирных нитей и текстильных материалов из них, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2023, № 1 (403), С. 69–75.

REFERENCES

1. Buzov, B. A. (2010), *Materialovedenie v proizvodstve izdelij legkoj promyshlennosti (shvejnoe proizvodstvo)* [Materials science in the production of light industry products (clothing)], Moscow, Academy, 448 p.
2. Kanakaraj, P. (2015), Active knit fabrics – functional needs of sportswear application, *Journal of Textile and apparel, Technology and management*, July, 2015, available at: <https://www.researchgate.net/publication/282267783>.
3. Mishra, R. et al (2021), Thermophysiological comfort of single jersey knitted fabric derivatives, *Fashion and Textiles*, 2021, Vol. 8, issue 1, available at: <https://doi.org/10.1186/s40691-021-00266-5>.
4. Halavska, L., Batrak, O. (2018), Development & research on consumer properties of integrated two-layer weft knitted fabric from eco-raw materials, *Fibres and Textiles*, 2018, Vol. 2, P. 32–39.
5. Bhatia, D., Malhotra, U. (2016), Thermophysiological wear comfort of clothing: an overview, *Textile Science Engineering*, 2016, Vol. 6, issue 2, doi:10.4172/2165-8064.1000250.
6. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N. (2022), Investigation of moisture transport in two-layer knitted structures made of polyester yarns under the action of external [Issledovanie transporta vlagi v dvuhsojnyh trikotaznyh strukturah iz polijefirnyh nitej pod dejstviem vneshej nagruzki], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti – News of higher educational institutions. Textile industry technology*, 2022, № 6 (402), P. 39–45.
7. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N. (2023), Evaluation of the functional properties of modified polyester yarns and textile materials from

8. ОАО «СветлогорскХимволокно», режим доступа: <http://www.sohim.by/> (дата обращения: 02.04.2023).
9. Hyun-Ah Kim (2021), Moisture Vapor Permeability and Thermal Wear Comfort of Ecofriendly Fiber-Embedded Woven Fabrics for High-Performance Clothing, Materials (Basel), 2021, Vol. 14(20), available at: https://www.researchgate.net/publication/355435087_Moisture_Vapor_Permeability_and_Thermal_Wear_Comfort_of_Ecofriendly_Fiber-Embedded_Woven_Fabrics_for_High-Performance_Clothing/.
10. Лыков, А. В. (1968), *Теория сушки*, Москва, 470 с.
8. JSC "SvetlogorskKhimvolokno", available at: <http://www.sohim.by/> (accessed 2 April 2023).
9. Hyun-Ah Kim (2021), Moisture Vapor Permeability and Thermal Wear Comfort of Ecofriendly Fiber-Embedded Woven Fabrics for High-Performance Clothing, Materials (Basel), 2021, Vol. 14(20), available at: https://www.researchgate.net/publication/355435087_Moisture_Vapor_Permeability_and_Thermal_Wear_Comfort_of_Ecofriendly_Fiber-Embedded_Woven_Fabrics_for_High-Performance_Clothing
10. Lykov, A. V. (1968), *Teorija sushki* [Drying theory], Moscow, 470 p.

Статья поступила в редакцию 17. 05. 2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИСКУССТВЕННЫХ КОЖ

STUDY OF THE EFFECT OF THE SCALE FACTOR ON THE STRENGTH PROPERTIES CHARACTERISTICS OF ARTIFICIAL MAN-MADE LEATHER

УДК 675.017.4

В.С. Туманов*, А.А. Кузнецов, В.В. Мурычева*Витебский государственный технологический университет*<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-59-66>**V. Tumanov*, A. Kuznetsov, V. Murycheva***Vitebsk State Technological University*

РЕФЕРАТ

ИСКУССТВЕННАЯ КОЖА, МАСШТАБНЫЙ ФАКТОР, ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАЗРЫВНАЯ НАГРУЗКА, ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Цель работы – оценка влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственных кож, путем использования метода имитационного моделирования, применение которого позволяет выявить общие закономерности влияния линейных размеров поверхностно-протяженных материалов на их прочностные характеристики.

Осуществлено моделирование испытаний с учетом вида и параметра закона распределения разрывной нагрузки для образцов, состоящих из некоторого числа n структурных элементов по длине и некоторого числа m структурных элементов по ширине образца. Для выявления влияния геометрических размеров образца на среднее значение его разрывной нагрузки проводилось моделирование таких же экспериментов для образцов искусственной кожи с переменной длиной и шириной.

С целью проверки предварительных выводов была произведена экспериментальная оценка разрывной нагрузки искусственной кожи при разных геометрических размерах пробы. В качестве объекта исследования была выбрана двухслойная искусственная кожа артикула Hongxin 11022-16. Испытания проводились с помощью универсальной испытательной машины TIME WDW-5 на пробах прямоугольной формы.

ABSTRACT

MAN-MADE LEATHER, SCALE FACTOR, STRENGTH PROPERTIES, SIMULATION MODELING, BREAKING LOAD, GEOMETRICAL CONDITIONS

The article presents studies of the influence of scale factor on the strength properties of artificial leathers. The method of simulation modeling enables to determine general patterns of influence of linear dimensions of surface-retentive materials on their strength properties.

Simulation was performed by the type and parameter of the law of distribution of the breaking load for specimens consisting of one section, the breaking load of which along the length is constant. In order to identify the influence of the geometric dimensions of the sample on the average value of its breaking load, the same experiments were simulated for man-made leather samples with variable length and width.

In order to experimentally verify the preliminary conclusions, an experimental evaluation of the breaking load of artificial leather at various geometric dimensions was carried out. The object of the study was double-layered man-made leather, item Hongxin 11022-16. Sample thickness of 0.9 mm, surface density is 435 g/m². Tests were conducted using TIME WDW-5 universal testing machine on samples of rectangular shape. As a result of this research, the possibility of practical use of the test simulation method for studying the influence of the scale factor on the strength properties of man-made leather was shown.

* E-mail: vevt24@gmail.com (V. Tumanov)

В результате проведенных исследований показана возможность практического использования метода имитационного моделирования испытаний для изучения влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственной кожи.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие требования, предъявляемые к потребительским свойствам и качеству современных изделий обувной промышленности, определяют её конкурентоспособность на внутреннем рынке Республики Беларусь и за рубежом. От качества исходных материалов, применяемых для изготовления обуви, зависит качество готового изделия. Управление качеством продукции требует знания свойств, умения правильно измерять и объективно оценивать важнейшие показатели качества, а также достоверно прогнозировать количественные характеристики свойств продукции [1, 2]. Одним из наиболее значимых показателей качества материалов, определяющих их технологическую пригодность для изготовления изделий из кожи, является нагрузка при разрыве, характеризующая прочность материала. Методику оценивая разрывной нагрузки искусственных кож (ИК) регламентируют соответствующие стандарты (ГОСТ 17361-71), где ее определяют при определенной фиксированной зажимной длине и ширине. Однако, с изменением зажимной длины и ширины меняется и значение разрывной нагрузки. Данная зависимость получила название масштабного эффекта. Анализ литературных источников показал недостаточную изученность вопросов, связанных с влиянием масштабного фактора на физико-механические свойства ИК [3–5].

Целью проводимых исследований является оценка влияния масштабного фактора на прочностные характеристики ИК. Научная новизна проведенных исследований состоит в использовании метода имитационного моделирования испытаний, применение которого позволяет выявить общие закономерности влияния линейных размеров поверхностно-протяженных материалов на их прочностные характеристики.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Предполагается, что каждый k -й образец ИК можно представить как некоторую систему, состоящую из последовательно-параллельно соединенных участков разной длины l_{ik} , разной ширины a_{jk} и разрывной нагрузки P_{ijk} , где k – изменяется от 1 до z (z – число образцов в испытываемой партии), i – от 1 до n (n – число структурных элементов по длине образца), j – от 1 до m (m – число структурных элементов по ширине образца).

Исходными данными для моделирования являются: вид и параметры закона распределения разрывной нагрузки для образцов, состоящих из одного участка, разрывная нагрузка которого по длине постоянна $P_p(1)$, $C_p(1)$; вид и параметры закона распределения участков системы $\bar{n}$ и C_n , $\bar{m}$ и C_m ; число испытываемых образцов z , где: $P_p(1)$ – среднее значение разрывной нагрузки для образцов, состоящих из одного участка; $C_p(1)$ – коэффициент вариации по разрывной нагрузке для образцов, состоящих из одного участка; $P_p(n, m)$ – значение разрывной нагрузки поверхностно-протяженного образца, состоящего из n и m числа структурных элементов; $C_p(n)$, $C_p(m)$ – коэффициенты вариаций количества структурных элементов по длине и ширине образца соответственно.

С помощью программы, реализованной в математической системе Maple 19, на начальном этапе осуществлялось моделирование эксперимента по испытанию на разрыв из z образцов, состоящих из некоторого числа n структурных элементов по длине образца, при этом число структурных элементов по ширине образца принималось равным $m = 1$ с заданными значениями $P_p(1)$ и $C_p(1)$.

На втором этапе моделирования, полученные значения разрывной нагрузки P_{ij} для некото-

рого числа n структурных элементов, являлись исходными данными для моделирования эксперимента по испытанию на разрыв из z образцов и задаваемого числа m структурных элементов.

Некоторые гистограммы распределений значений $P_p(n, m)$ и функции плотности вероятностей значений $P_p(1)$ и $P_p(n, m)$ представлены на рисунке 1.

В результате имитационного моделирования установлено, что распределение разрывной нагрузки образца $P_p(n, m)$ не совпадает с задаваемым законом распределения $P_p(1)$. Отмечается появление правой асимметрии закона распределения и сдвиг модального значения в сторону меньших значений.

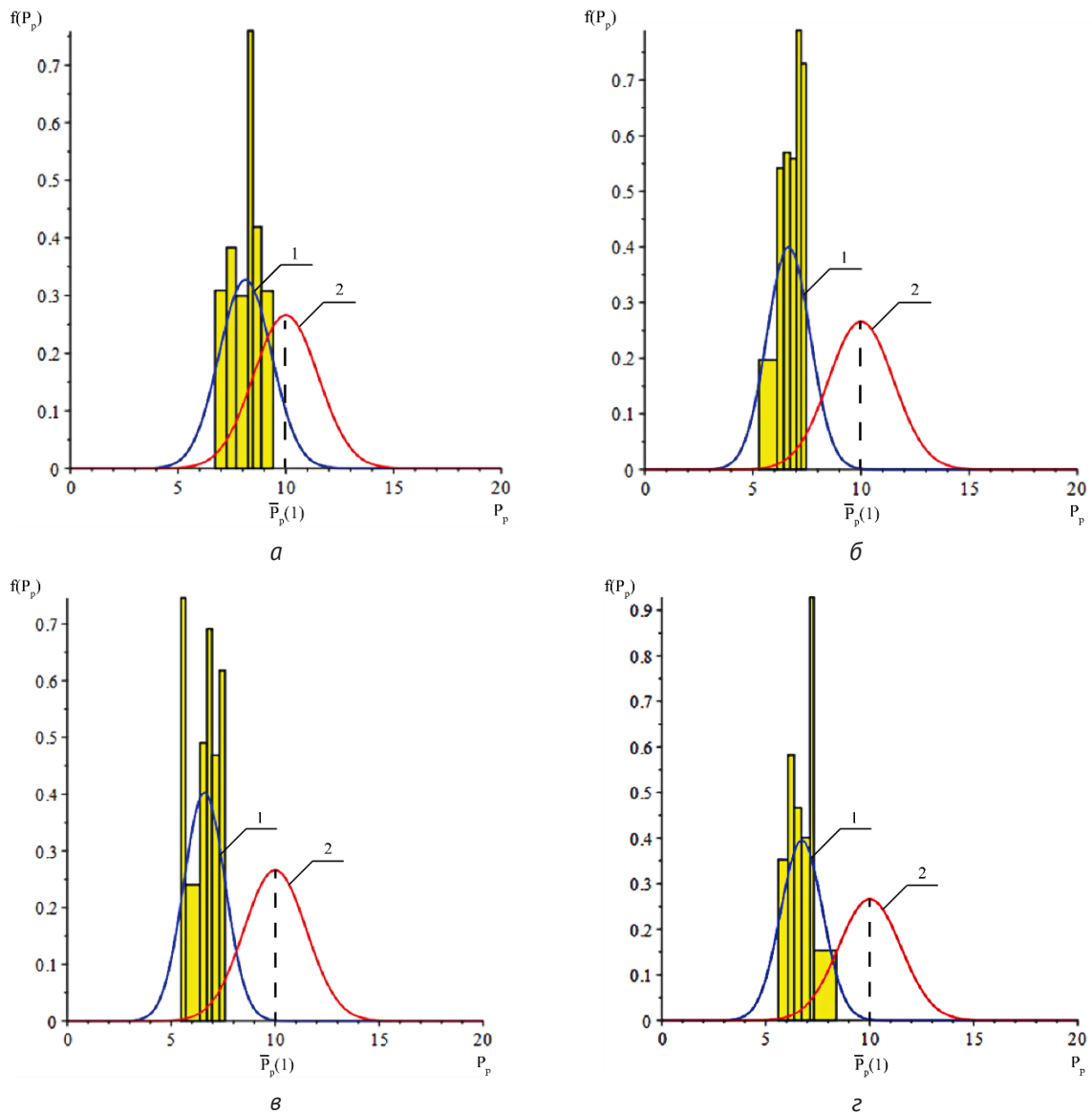


Рисунок 1 – Гистограммы распределений значений $P_p(n, m)$ и функции плотности вероятностей значений $P_p(n, m)$ (кривая 1) и $P_p(1)$ (кривая 2) при а – $\bar{n} = 5, \bar{m} = 1$; б – $\bar{n} = 30, \bar{m} = 1$; в – $\bar{n} = 30, \bar{m} = 5$; г – $\bar{n} = 30, \bar{m} = 30$

Для выявления влияния геометрических размеров образца на среднее значение его разрывной нагрузки проводилось моделирование таких же экспериментов для образцов ИК с переменной длиной и шириной, которые считались пропорциональны числу n и m участков цепи.

На рисунке 2 представлены зависимости среднего значения разрывной нагрузки от числа структурных элементов n по длине исследуемо-

го образца материала при различных значениях количества структурных элементов m по ширине образца.

Анализ данных зависимостей позволяет отметить, что увеличение количества структурных элементов n приводит к закономерному снижению среднего значения разрывной нагрузки $\bar{P}_p$. Это объясняется тем, что при увеличении числа участков n увеличивается вероятность появле-

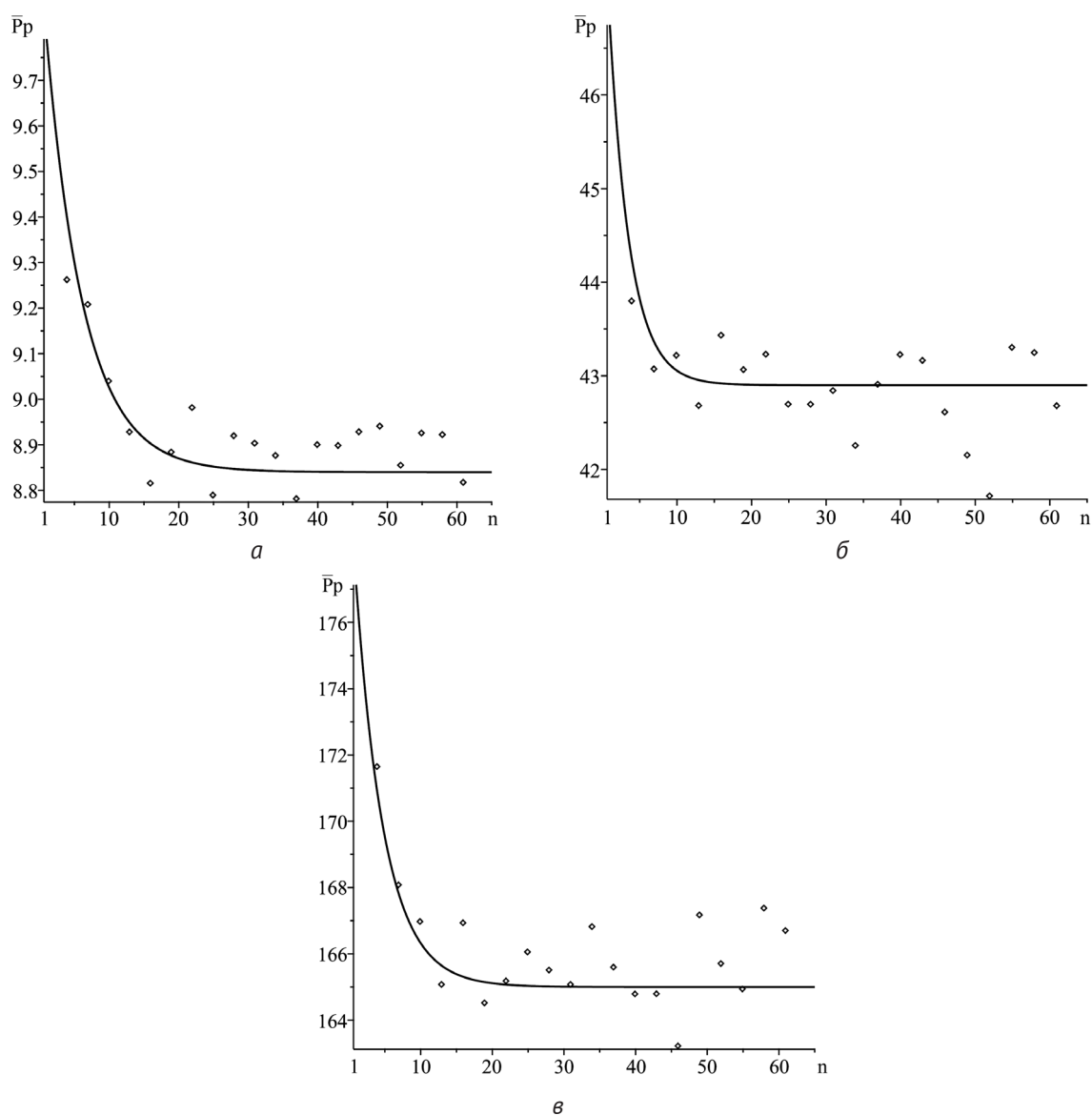


Рисунок 2 – Зависимости среднего значения разрывной нагрузки от числа структурных элементов по длине при различных значениях количества структурных элементов по ширине образца (а – $\bar{m} = 1$; б – $\bar{m} = 5$; в – $\bar{m} = 20$)

ния элемента ИК с наименьшей по абсолютной величине разрывной нагрузкой.

Для математического описания результатов моделирования используем математическую модель следующего вида [6]:

$$\bar{P}_p(n) = (m \cdot \bar{P}_p(1) - \bar{P}_{p,сл}) \cdot \exp\left(-\frac{n-1}{K_n}\right) + \bar{P}_{p,сл}, \quad (1)$$

где $\bar{P}_{p,сл}$ – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев, испытуемого образца материала; K_n – параметр модели, характеризующий темп уменьшения среднего значения разрывной нагрузки $\bar{P}_p(n)$ при увеличении n (темповой параметр) [6].

Для количественной оценки степени проявления масштабного фактора прочности при увеличении ширины материала (предполагается, что ширина образца пропорциональна числу структурных элементов m) введём следующий показатель Ψ , (%):

$$\Psi = \frac{m \cdot \bar{P}_p(1) - \bar{P}_{p,сл}}{m \cdot \bar{P}_p(1)} \cdot 100(\%) . \quad (2)$$

В результате имитационного моделирования получена зависимость введённого показателя от количества структурных элементов m , представленная на рисунке 3.

Анализ данной зависимости позволяет отметить закономерный характер снижения Ψ при увеличении количества структурных элементов m . При этом существует такое количество структурных элементов m , которое не влияет на относительное уменьшение разрывной нагрузки, вызванное действием масштабного фактора.

Так как зажимная длина L_0 пропорциональна n , зажимная ширина A_0 пропорциональна m , то по аналогии с (1) можно записать:

$$\bar{P}_p(L_0) = (\bar{P}_p(0) - \bar{P}_{p,сл}) \cdot \exp\left(-\frac{L_0}{K_L}\right) + \bar{P}_{p,сл}, \quad (3)$$

где $\bar{P}_{p,сл}$ – средняя разрывная нагрузка наиболее слабых звеньев, испытуемого образца ИК; $\bar{P}_p(L_0)$ – среднее значение разрывной нагрузки, как функции зажимной длины L_0 ; $\bar{P}_p(0)$ – среднее значение разрывной нагрузки образца, зажимная длина которого стремится к 0; K_L – имеет тот же смысл, что и K_n , то есть параметр модели

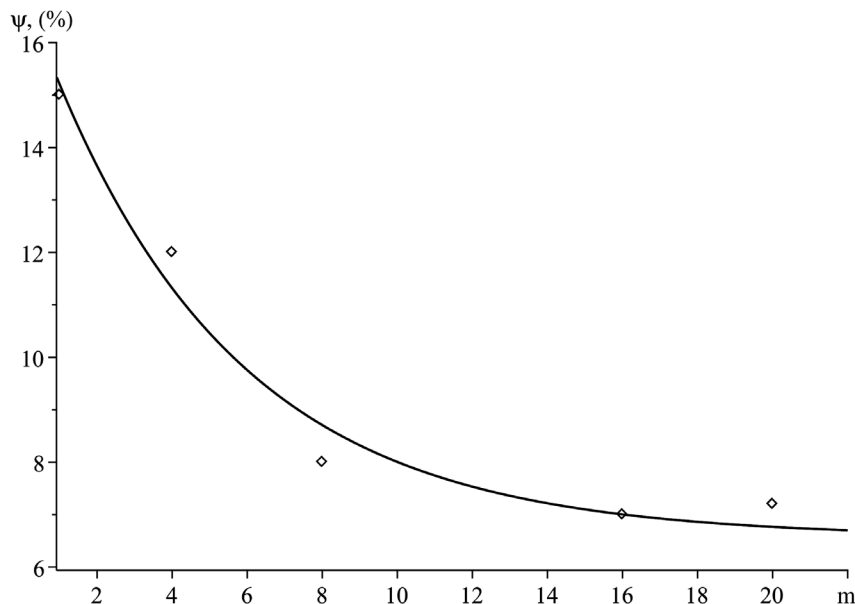


Рисунок 3 – Зависимость относительного уменьшения разрывной нагрузки от числа структурных элементов m

определяющий темп уменьшения разрывной нагрузки $\bar{P}_p(L_0)$ при увеличении зажимной длины.

С целью экспериментальной проверки предварительных выводов, сформулированных выше, была произведена экспериментальная оценка разрывной нагрузки ИК при разных геометрических размерах. В качестве объекта исследования была выбрана двухслойная ИК, арт. Hongxin 11022-16. Толщина материала – 0,9 мм, поверхностная плотность – 435 г/м². Испытания проводились с помощью универсальной испытательной машины TIME WDW-5 на пробах прямоугольной формы. При проведении экспериментальных исследований зажимная длина варьировалась в диапазоне от 50 до 300 мм с шагом 50 мм, а изменение ширины происходило в диапазоне от 20 до 60 мм с шагом 20 мм. Для каждой пробы различных размеров было проведено по 5 испытаний на разрыв в разных направления раскроя материала (вдоль и поперёк рулона). Некоторые результаты

проведенных исследований представлены на рисунке 4.

Анализ данных зависимостей показывает закономерное снижение разрывной нагрузки с увеличением зажимной длины образца ИК. Параметры математической модели (3) представлены в таблице 1.

Анализ полученных в таблице 1 результатов показывает, что увеличение ширины образца приводит к закономерному увеличению значений $\bar{P}_p(0)$ и $\bar{P}_{p.cл}$, при этом темповый параметр KL остается практически постоянным.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлено, что практическое использование полученных результатов позволяет:

- осуществлять прогнозирование разрывной нагрузки P_p образцов ИК при различных геометрических параметрах, что повышает информативность полувеликого испытания на растяжение;

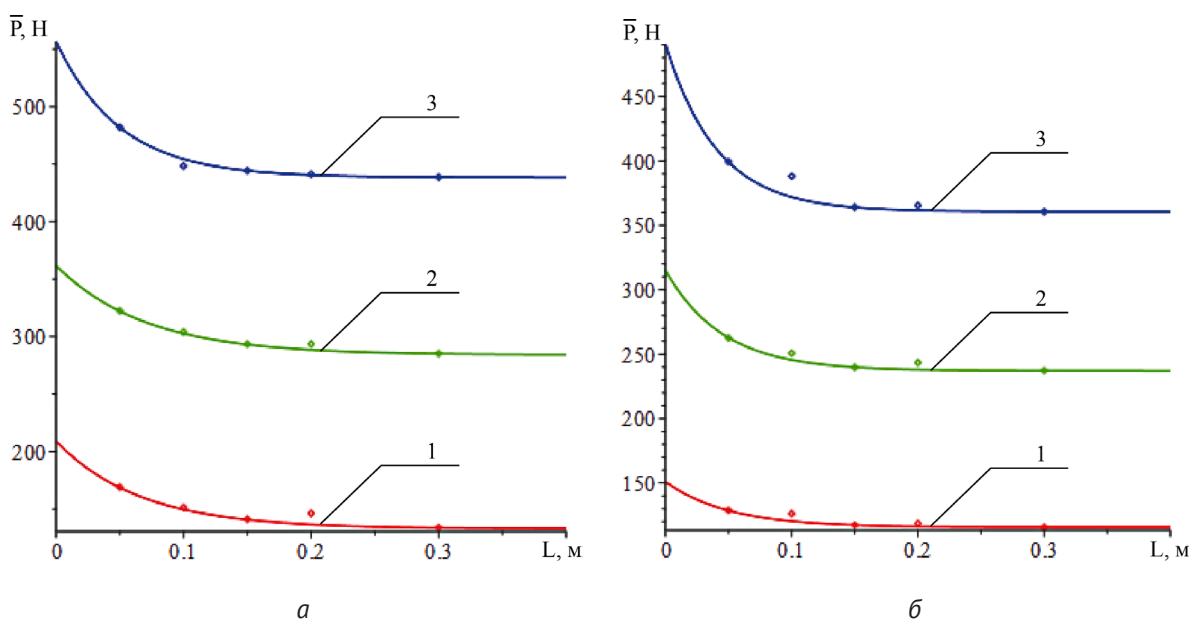


Рисунок 4 – Зависимости разрывной нагрузки от зажимной длины при разной ширине образца (1 – $a = 0,02$ м, 2 – $a = 0,04$ м, 3 – $a = 0,06$ м; а – направление раскроя образца – вдоль, б – направления раскроя образца – поперек)

Таблица 1 – Параметры математической модели для исследуемого образца ИК при разных зажимных расстояниях и ширинах

Ширина образца, мм	$\bar{P}_{p.сл}, Н$	$\bar{P}_p(0), Н$	$K_L, м^{-1}$	R^2	$\Psi_d, \%$
Направление раскроя – вдоль					
20	132,9	209,0	0,076	0,96	57,3
40	284,0	361,8	0,073	0,99	27,4
60	438,4	556,7	0,056	0,99	27,0
Направления раскроя – поперек					
20	115,6	151,0	0,051	0,97	31,0
40	237,1	315,1	0,054	0,99	33,0
60	360,6	490,6	0,047	0,98	36,0

– предложить методологический подход к обоснованию геометрических размеров образцов ИК при ее испытаниях.

Таким образом, доказана возможность практического использования метода имитационного моделирования испытаний для изучения влияния масштабного фактора на прочностные характеристики искусственной кожи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дмитриев, А. П., Борозна, В. Д., Буркин, А. Н. (2018), Деформационные свойства и структура современных искусственных кож на тканой основе для верха обуви, *Дизайн и технологии*, 2018, № 65(107), С. 29–31.
2. Борозна, В. Д., Буркин, А. Н., Козловская, Л. Г., Цобанова, Н. В., Гольдаде, В. А., Зотов, С. В. (2020), Свойства искусственных кож, применяемых для производства заготовок верха обуви внутреннего способа формования, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, №1 (38), С. 18–31.
3. Шашкова, Е. С., Томашева, Р. Н., Горбачик, В. Е. (2018), Влияние масштабного фактора на физико-механические свойства искусственных

REFERENCES

1. Dmitriev, A. P., Borozna, V. D., Burkin, A. N. (2018), Deformation properties and structure of modern woven leather for the top of shoes [Deformacionnye svojstva i struktura sovremennyh iskusstvennyh kozh na tkanoj osnove dlja verha obuvi], *Dizajn i tekhnologii – Design and technology*, 2018, № 65(107), pp. 29–31.
2. Borozna, V. D., Burkin, A. N., Kozlovskaya, L. G., Tsobanova, N. V., Goldade, V.A., Zotov, S. V. (2020), Properties of artificial skins used for the manufacture of inner molding shoe top blanks [Svojstva iskusstvennyh kozh, primenjaemyh dlja proizvodstva zagotovok verha obuvi vnutrennego sposoba formovaniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2020, №1 (38), pp. 18–31.

кож, *Материалы докладов 51-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, посвященной Году науки*, Витебск, 2018, С. 100–102.

4. Уманский, Э. С. (1963), Масштабный эффект при растяжении искусственной кожи на ориентированной хлопковой основе, *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*, 1963, № 1, С. 63–78.
5. Кирюшина, В. В., Ковалева, Ю. Ю., Степанов, П. А., Коваленко, П. В. (2019), Исследование влияния масштабного фактора на прочностные свойства полимерных композиционных материалов, *Известия вузов. Ядерная энергетика*, 2019, № 1, С. 97–104.
6. Кузнецов, А. А. (2009), Исследование влияния масштабного фактора на характеристики прочности пряжи, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2009, № 1, С. 14–17.

kogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University, 2020, № 1 (38), pp. 18–31.

3. Shashkova, E. S., Tomasheva, R. N., Gorbachik, V. E. (2018), Influence of scale factor on physical and mechanical properties of artificial skins [Vliyanie masshtabnogo faktora na fiziko-mehanicheskie svoystva iskusstvennyh kozh], *Materials of the reports of the 51st International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students dedicated to the Year of Science*, Vitebsk, 2018, pp. 100–102.
4. Umansky, E. S. (1963), Scale effect when stretching artificial skin on an oriented cotton base [Masshtabnyj jeffekt pri rastjazhenii iskusstvennoj kozhi na orientirovannoj hlopkovoj osnove], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti – The News of higher educational institutions. Technology of Light Industry*, 1963, № 1, pp. 63–78.
5. Kiryushina, V. V., Kovaleva, Yu. Yu., Stepanov, P. A., Kovalenko, P. V. (2019), Study of the influence of the scale factor on the strength properties of polymer composite materials [Issledovanie vlijaniya masshtabnogo faktora na prochnostnye svoystva polimernyh kompozicionnykh materialov], *Izvestiya vuzov. Yadernaya Energetika – Izvestiya Universities. Nuclear power*, 2019, № 1, pp. 97–104.
6. Kuznetsov, A. A. (2009), Study of influence of scale factor on yarn strength characteristics [Issledovanie vlijaniya masshtabnogo faktora na harakteristiki prochnosti prjazhi], *Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2009, № 1, pp. 14–17.

Статья поступила в редакцию 11. 05. 2023 г.

РАЗРАБОТКА ДВУХСЛОЙНОГО НАНОВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА С ЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

DEVELOPMENT OF A TWO-LAYERED NANOFIBROUS MATERIAL WITH SILVER PARTICLES

УДК 677.076.49 : 620.3

И.И. Черников^{1*}, С.Э. Ржеусский², Д.Б. Рыклин¹

¹Витебский государственный технологический университет

²Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-67-76>

I. Chernikau^{1*}, S. Rzeussky², D. Ryklin¹

¹Vitebsk State Technological University

²Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University

РЕФЕРАТ

ЭЛЕКТРОФОРМОВАНИЕ, НАНОВОЛОКНИСТЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НАНОЧАСТИЦЫ СЕРЕБРА, РАНЕВЫЕ ПОКРЫТИЯ

Целью работы явилось разработка двухслойного нановолокнистого материала медицинского назначения методом электроформования, в котором сочетаются активный (биodeградирующий) и защитный (биоинертный) слои. Осуществлен выбор волокнообразующих полимеров для каждого слоя: полиамид-6 и поливиниловый спирт. Исходя из проведенного анализа литературных источников, в качестве таргет-компонента в активном слое было принято решение использовать наночастицы серебра. Для получения двухслойного нановолокнистого материала были разработаны рецептуры прядильных растворов. Согласно нормам и рекомендациям определена концентрация серебра в итоговом изделии. Выбраны рациональные режимы работы оборудования. Получены изображения структуры двухслойного нановолокнистого материала, анализ которых указывает на наличие небольшого количества веретенообразных дефектов в слое, полученном из раствора поливинилового спирта с частицами серебра. Определены диаметры нановолокон в каждом слое и установлено, что распределение нановолокон по диаметру соответствует логнормальному закону распределения. С учетом выявленных особенностей протекания процесса электроформования и наличия

ABSTRACT

ELECTROSPINNING, NANOFIBROUS MATERIALS, SILVER NANOPARTICLES, WOUND COVERING

The aim of the work is development of a two-layered nanofibrous material for medicine by electroforming where active (biodegrading) and protective (bioinert) layers are combined. Polyamide-6 and polyvinyl alcohol were chosen as fiber-forming polymers for each layer. Based on the analysis of literature sources, it was decided to use silver nanoparticles as a target component in the active layer. Formulation of spinning solutions was developed for obtaining the two-layered nanofibrous material. The concentration of silver in the final product is determined following the standards and recommendations. Based on this, rational modes for electrospinning equipment were chosen. The analysis of images of the two-layered nanofibrous material structure indicates the presence of a small number of spindle-shaped defects in the layer made from a solution of polyvinyl alcohol with silver particles. The diameters of nanofibers in each layer are measured and it is determined that the distribution of nanofibers by diameter corresponds to the lognormal distribution law. Taking into account the identified features of the electrospinning process and the presence of defects in the structure of the material at the next stage of work it is advisable to determine the possibility of the fiber-forming polymer increasing concentration in the spinning solution. The decision on the need and rational way to

* E-mail: chernikov.st@mail.ru (I. Chernikau)

дефектов в структуре материала на следующем этапе работы целесообразно определить возможность увеличения концентрации волокнообразующего полимера в прядильном растворе. Решение о необходимости и рациональном способе корректировки содержания в материале наночастиц серебра будет принято на основании апробации полученного материала в качестве раневого покрытия.

adjust the content of silver nanoparticles in the material will be made on the basis of approbation of the material as a wound covering.

В последние два десятилетия электроформование было признано одним из самых универсальных методов получения материалов различного назначения из микро- и нановолокон. Множество публикаций, посвященных разработкам новых видов нановолокнистых материалов, доказывает, что в настоящее время наблюдается устойчивый интерес к их применению в биоинженерии и медицине.

Нановолокнистые материалы, как лечебное средство, применяются в качестве различных повязок, в которых они выполняют как защитные, так и лечебные функции при повреждениях, например, кожного покрова. При этом в таких изделиях могут сочетаться различные слои: активный (биodeградирующий), непосредственно контактирующий с повреждением и обладающий сорбционными, кровоостанавливающими и заживляющими свойствами, и защитный (биоинертный), обеспечивающий стерильные условия и свободный обмен с окружающей средой [1].

Благодаря крайне малому диаметру нановолокон заметно увеличивается удельная площадь поверхности. Таким образом, нановолокнистые материалы могут имитировать нанофибриллы внеклеточного матрикса, что делает их идеальными для применения в биомедицине и косметологии [2]. С помощью метода электроформования различные лекарства и биологически активные таргет-компоненты могут быть легко инкапсулированы в нановолокна, что позволяет создавать нановолокнистые материалы с заданными свойствами [3].

С конца 20-го века наблюдается особый интерес к использованию серебра в виде ионов и наночастиц (**AgNP**) в медицине и фармации.

Это связано с доказательством факта того, что серебро обладает более мощным антимикробным эффектом, чем некоторые антибиотики, и оказывает губительное действие на штаммы бактерий, устойчивых к ним [4].

Серебро в виде наночастиц обладает выраженным бактерицидным, противогрибковым действием и служит высокоэффективным обеззараживающим средством в отношении патогенных микроорганизмов, вызывающих инфекционные заболевания. Предполагается, что наночастицы и ионы серебра за счет химических и электростатических сил прикрепляются к отрицательно заряженной клеточной стенке микроорганизмов, нарушают ее функции и разрушают структуру. Затем они связываются с биомолекулами и клеточными структурами, замедляя и останавливая процессы транскрипции, трансляции и синтеза белка, нарушая работу антиоксидантных ферментов, что делает клетку беззащитной перед активными формами кислорода и другими свободными радикалами. Это может привести к окислительному стрессу, повреждениям белков и клеточных мембран, что в дальнейшем приводит к гибели бактерий [5–6].

Было установлено, что бактерицидное влияние **AgNP** на грамположительные бактерии является более выраженным, чем на грамотрицательные. Предполагается, что грамотрицательные бактерии более устойчивы к воздействию **AgNP** благодаря наличию наружной мембраны, служащей своеобразным барьером [7]. Наночастицы серебра проявляют антибактериальный эффект даже при низких концентрациях, например, они полностью цитотоксичны для грамотрицательных бактерий *E. Coli* при поверхностной концентрации всего 8 мкг/см^2 . Это может быть

связано с удельной площадью поверхности наночастиц. Более мелкие частицы с большим отношением поверхности к объему обеспечивают более значимый антибактериальный эффект [8].

Благодаря выше перечисленным эффектам, наночастицы серебра находят широкое применение в медицине для лечения и диагностики различных заболеваний. Они используются в хирургии, в частности, для лечения ран, ожогов, повреждений, в составе минимально травматичных, биосовместимых и биоразрушаемых антимикробных повязок [9]. В ряде патентов исследователями разработан ряд раневых покрытий на основе тканых и нетканых материалов природного или синтетического происхождения, содержащих наночастицы серебра [10–11]. Китайским ученым Liu Wenbo были разработаны бактерицидные пластыри с *AgNP*, использование которых снижает необходимость употребления большого количества антибиотиков для борьбы с инфекцией при лечении грыжи [12].

С учетом перспективности использования нановолокнистых материалов в медицине и доказанной эффективностью частиц серебра в качестве таргет-компонента, обладающего бактерицидным действием, целью данной работы являлась разработка структуры материала, содержащего *AgNP*, и обоснование возможности его получения методом электроформования.

Для создания нового вида раневого покрытия предложена концепция двухслойного нановолокнистого материала [13], в котором сочетаются: активный слой (водорастворимый с активным компонентом) и защитный (биоинертный). В качестве волокнообразующего полимера для получения активного слоя был выбран поливиниловый спирт (ПВС) марки Arkofil. Использование данного полимера обусловлено его водорастворимостью, биосовместимостью с организмом человека и низкой стоимостью [14], а процесс получения нановолокнистых материалов методом электроформования из него хорошо изучен. В качестве полимера для создания защитного слоя выступает низковязкий полиамид-6, так как данный полимер является водонерастворимым и обладает низкой степенью биodeградации, что может быть связано с сильным взаимодействием между молекулярными цепями из-за водородных связей [15].

Разработка материала основывалась на предположении о том, что при контакте активного слоя, состоящего из поливинилового спирта и *AgNP*, с раневой поверхностью будет происходить быстрое растворение ПВС, то есть образование раствора с наночастицами серебра, тем самым активизируется выделение ионов серебра, которые прикрепляются к стенкам бактерий [16]. Наличие защитного слоя в виде тонкой полиамидной пленки позволит реализовать свободный обмен с окружающей средой. Следовательно, благодаря бактерицидным, выраженным противогрибковым и антисептическим действием наночастиц серебра, разрабатываемый нановолокнистый материал может рассматриваться в качестве раневого покрытия для лечения ожогов и повреждений кожного покрова.

Для получения двухслойного нановолокнистого материала были приготовлены два прядильных состава:

- раствор 1: полиамид-6 – 20 %, муравьиная кислота – 80 %.

- раствор 2: 14 % водный раствор ПВС – 80 %, 0,1 % водный раствор *AgNP* – 20 %.

Наночастицы серебра получены методом глюкозного синтеза из нитрата серебра с использованием в качестве стабилизатора поливинилпирролидона. Полноту протекания реакции контролировали путем определения в растворе ионов серебра. Время реакции составило 2,5 часа.

Выбор концентрации серебра в материале осуществлялся на основании анализа информации о его токсических свойствах. Накопление тяжелых металлов, таких как серебро, в организме человека может привести к нежелательным последствиям, например, к гиперпигментации кожи (аргирия). Аргирия представляет собой нарушение пигментации кожного покрова человека, которое вызвано избыточным накоплением меланина в эпидермисе и дерме [17]. Известно, что ПДК серебра в питьевой воде составляет 50 мкг/л . Согласно данным различных ученых, суточная норма потребления серебра составляет от 80 до 100 мкг [18]. Такое количество серебра при длительном каждодневном употреблении не приводит к значимым последствиям. Следовательно, при разработке нановолокнистого материала данные рекомендации по concentra-

ции серебра не должны быть превышены.

Однако с учетом особенности структуры и способа применения материала можно отметить, что количество серебра, выделяемое из раневого покрытия, будет зависеть от площади поверхности раны или ожога. Таким образом, для лечения ожогов разной степени целесообразна разработка раневых покрытий с различным содержанием таргет-компонента данного вида.

На данном этапе исследований содержание частиц серебра в прядильном растворе осуществлялось следующим образом. При экспериментальной наработке нановолокнистого материала с наночастицами серебра было установлено, что расход прядильного раствора варьируется в диапазоне от 2,5 до 5 *мл/ч*. Нанесение нановолокнистого слоя осуществлялось на подложку в виде антиадгезионной силиконизированной бумаги размером 300–200 *мм*. При наработке активного слоя в течение 15 минут со средним расходом прядильного раствора 4 *мл/ч* содержание наночастиц серебра в нем составит 200 *мкг*. Предварительно предполагается, что для последующего использования получаемый образец материала с нановолокнистым покрытием будет разрезаться на 4 равные части. Следовательно, содержание *AgNP* в готовом изделии составляет 50 *мкг*. Увеличение содержания серебра в материале возможно двумя способами: повышением концентрации активного компонента в прядильном растворе или увеличением времени на наработку материала. При этом использование первого способа требует проведение дополнительных исследований, так

как введение в состав раствора компонента с повышенной электропроводностью существенно изменяет его свойства.

Получение двухслойных нановолокнистых материалов с *AgNP* методом электроформования осуществлялось на лабораторной установке Fluidnatek LE-50 фирмы Bioinicia (Испания). Нанесение нановолокнистых покрытий осуществлялось на подложку при параметрах процесса электроформования, которые представлены в таблице 1.

Стоит отметить, что возможно повышение производительности оборудования за счет увеличения расхода прядильного раствора, однако это приводит к снижению стабильности процесса электроформования, что, в свою очередь, может влиять на морфологию нановолокон и структуру материала [19]. Исходя из анализа результатов работы [13], можно заметить, что расход прядильного раствора из 14 % ПВС с *AgNP* практически в 3 раза выше, чем при электроформовании нановолокнистых материалов из 14 % раствора ПВС без добавок. Такой результат может объясняться тем, что наличие наночастиц серебра сильно повышает электропроводность данного раствора и впоследствии приводит к увеличению производительности оборудования.

Для визуализации структуры двухслойного нановолокнистого материала, полученного методом электроформования, были получены изображения с использованием электронного сканирующего микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия), которые представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Параметры процесса электроформования

Параметр	Защитный слой	Активный слой
Состав прядильного раствора	20 % раствор полиамида-6	14 % раствор ПВС + 0.1 % раствор AgNP
Расстояние от эмиттера до коллектора, <i>см</i>	10	10
Напряжение на эмиттере, <i>кВ</i>	29	30
Напряжение на коллекторе, <i>кВ</i>	-9	-10
Расход прядильного раствора, <i>мл/ч</i>	0,3	4
Частота вращения коллектора, <i>мин⁻¹</i>	200	200
Время нанесения, <i>мин</i>	60	15

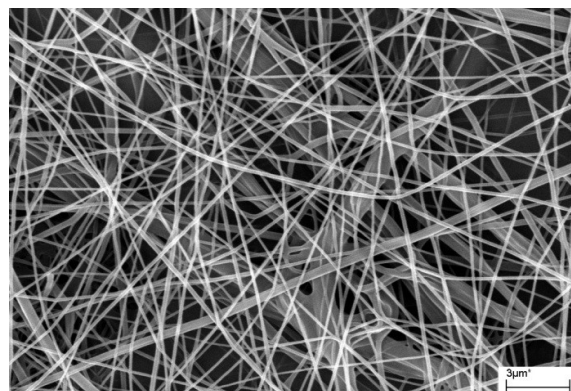
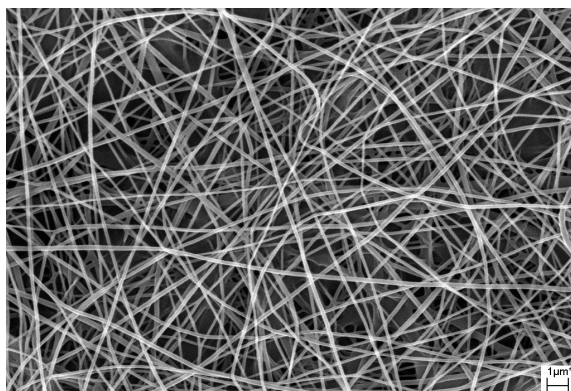
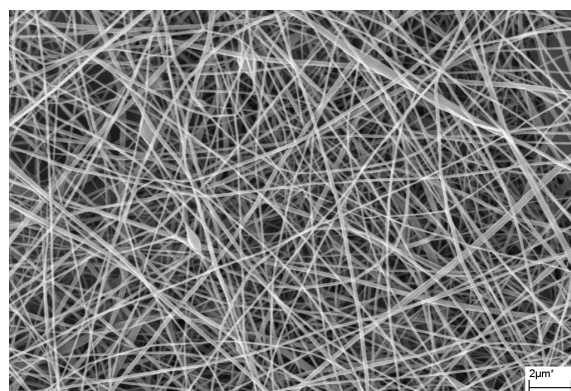
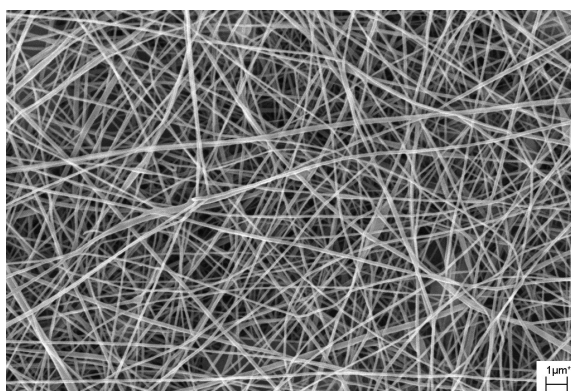


Рисунок 1 – Изображения структуры нановолокнистого слоя из раствора полиамида-6 при увеличении в 10000 раз



*Рисунок 2 – Изображения структуры нановолокнистого слоя из раствора ПВС с **AgNP** при увеличении в 10000 раз*

Проанализировав полученные изображения, можно заметить, что сквозь поверхность слоя, полученного из полиамида-6, видны нановолокна находящиеся в активном слое. Это говорит о том, что слой из полиамидных нановолокон имеет незначительную толщину. Полиамидные нановолокна несколько тоньше волокон из ПВС с добавлением частиц серебра и более равномерны по диаметру. В целом, в первом слое не

наблюдается ярко выраженных дефектов. Во втором слое можно заметить наличие незначительного количества веретенообразных дефектов, что может объясняться снижением концентрации волокнообразующего полимера во время процесса электроформования. Дефект носит пороговый характер и зависит от выбора волокнообразующего полимера [19]. Наличие подобных дефектов может объясняться пони-

женной вязкостью раствора. Было установлено, что динамическая вязкость 14%-го раствора ПВС с *AgNP* составляет 323 *мПа · с*, что практически в 4 раза ниже, чем динамическая вязкость чистого 14%-го раствора ПВС без активных добавок, которая составляет 1321 *мПа · с*. Однако стоит отметить, что наличие индивидуальных веретенообразных утолщений практически не влияет на эксплуатационные свойства данного нановолокнистого материала.

Установлено, что распределение волокон по диаметру соответствует логнормальному (рисунки 3 и 4). Ранее была подтверждена гипотеза о том, что если считать процесс расщепления струи стационарным при условии постоянства скорости расщепления струй на всем пути от эмиттера до коллектора, то соответствие распределения логнормальному закону может использоваться в качестве одного из критериев стабильности

процесса электроформования [20]. Таким образом, можно сделать вывод, что введение в состав прядильного раствора наночастиц серебра в указанном количестве не оказало негативного влияния на процесс электроформования.

В таблице 2 представлена характеристика получаемых нановолокон.

Исходя из результатов проделанной работы, можно сделать следующие выводы:

1. Предложена двухслойная структура нановолокнистого материала, содержащего наночастицы серебра, и доказана возможность его получения методом электроформования.

2. С учетом выявленных особенностей протекания процесса электроформования и наличия дефектов в структуре материала на следующем этапе работы целесообразно определить возможность увеличения концентрации волокнообразующего полимера в прядильном растворе.

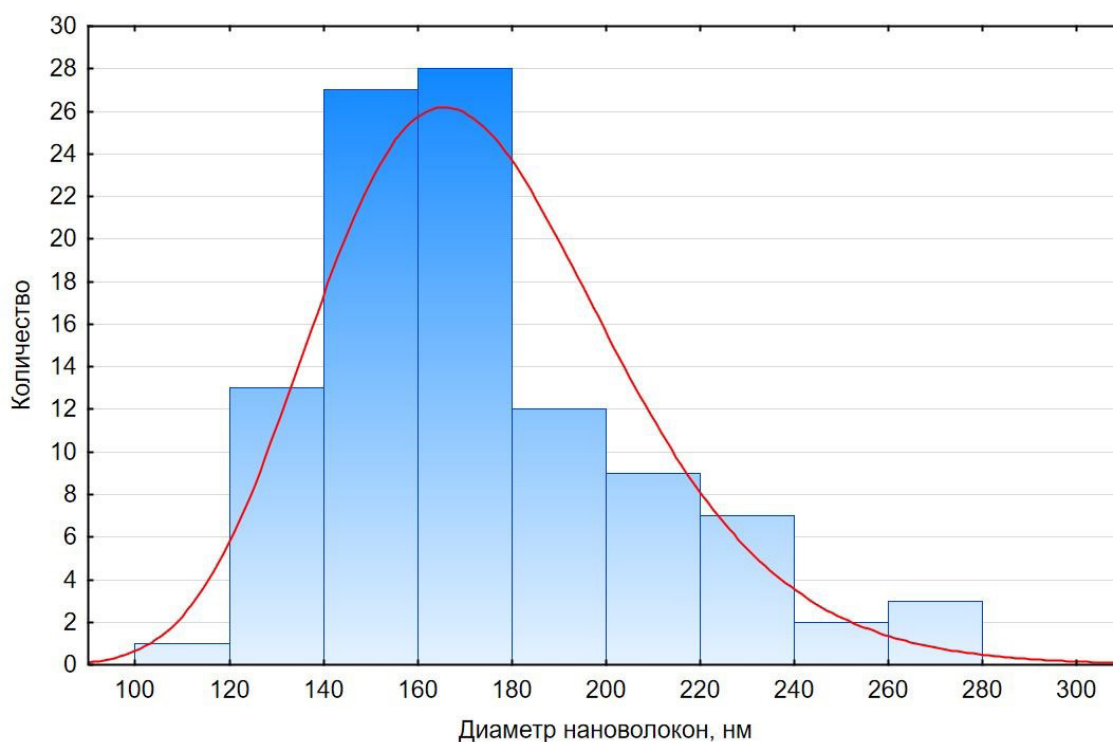


Рисунок 3 – Гистограмма распределения нановолокон по диаметру в слое, полученном из 20 % раствора полиамида-6

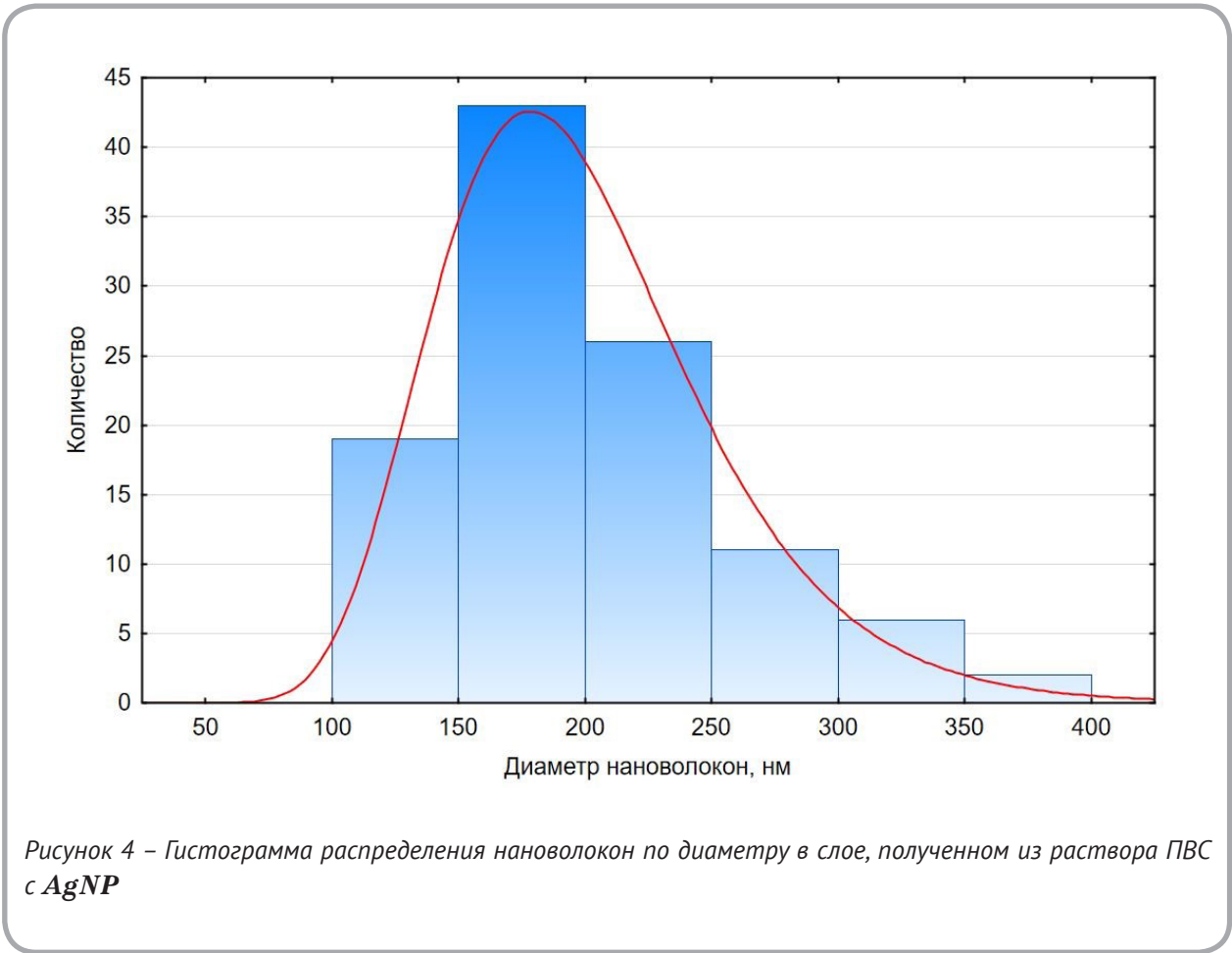


Таблица 2 – Характеристика получаемых нановолокон		
Наименование образца	Средний диаметр волокон, нм	Коэффициент вариации по диаметру волокна, %
20 % р-р полиамида-6 (1 слой)	174	13,3
14 % р-р ПВС с AgNP (2 слой)	199	28,4

3. Решение о необходимости и рациональном способе корректировки содержания в материале наночастиц серебра будет принято на основании апробации полученного материала в качестве раневого покрытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lim, S. H., Mao, H. Q. (2009), Electrospun scaffolds for stem cells engineering, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2009, № 61, pp. 1084–1096.
2. Schiffman, J. D., Schauer, C. L. (2008), A review: Electrospinning of biopolymer nano-fibers and their applications, *Polymer Reviews*, 2008, № 48 (2), pp. 317–352.
3. Luraghi, A., Peri, F., Moroni, L. (2021), Electrospinning for drug delivery applications: A Review, *Journal of Controlled Release*, 2021, № 334, pp. 463–484.
4. Брызгунов, В. С., Липин, В. Н., Матросова, В. Р. (1964), Сравнительная оценка бактерицидных свойств серебряной воды и антибиотиков на чистых культурах микробов и их ассоциациях, *Вестник Казанского медицинского университета*, 1964, № 14, С. 121–122.
5. Lee, S. H., Jun, B. H. (2019), Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine, *International Journal of Molecular Science*, 2019, № 20(4), pp. 865.
6. Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G., Galdiero, M. (2015), Silver nanoparticles as potential antibacterial agents, *Molecules*, 2015, № 20(5), pp. 8856–8874.
7. Габриелян, Л. С., Трчунян, А. А. (2020), Антибактериальные свойства наночастиц серебра и мембранотропные механизмы их действия, *Журнал Белорусского государственного университета. Биология*, 2020, № 3, С. 64–71.
8. Mritunjai, S., Shinjini, S., Prasada, S., Gambhir, I. S. (2008), Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2008, № 3, pp. 115–122.

REFERENCES

1. Lim, S. H., Mao, H. Q. (2009), Electrospun scaffolds for stem cells engineering, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2009, №61, pp. 1084–1096.
2. Schiffman, J. D., Schauer, C. L. (2008), A review: Electrospinning of biopolymer nano-fibers and their applications, *Polymer Reviews*, 2008, № 48 (2), pp. 317–352.
3. Luraghi, A., Peri, F., Moroni, L. (2021), Electrospinning for drug delivery applications: A Review, *Journal of Controlled Release*, 2021, № 334, pp. 463–484.
4. Bryzgunov, V. S., Lipin, V. N., Matrosova, V. R. (1964), Comparative evaluation of bactericidal properties of silver water and antibiotics on pure cultures of microbes and their associations [Sravnitel'naya ocenka baktericidnyh svoystv serebryanoj vody i antibiotikov na chistyyh kul'turakh mikrobov i ih associaciyah], *Vestnik Kazanskogo medicinskogo universiteta – Vestnik of Kazan medical university*, 1964, № 14, pp. 121–122.
5. Lee, S. H., Jun, B. H. (2019), Silver nanoparticles: synthesis and application for nanomedicine, *International Journal of Molecular Science*, 2019, № 20(4), pp. 865.
6. Franci, G., Falanga, A., Galdiero, S., Palomba, L., Rai, M., Morelli, G., Galdiero, M. (2015), Silver nanoparticles as potential antibacterial agents, *Molecules*, 2015, № 20(5), pp. 8856–8874.
7. Gabrielyan, L. S., Trchunyan, A. A. (2020), Antibacterial properties of silver nanoparticles and membranotropic mechanisms of their action [Antibakterial'nye svoystva nanochastich serebra i membranotropnye mekhanizmy ix dejstviya], *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya – Journal of the Belarusian State University. Biology*, 2020, № 3, pp. 64–71.

9. Баранова, О. А., Пахомов, П. М., Способ получения пленок с наноструктурным серебром, Патент РФ № 2542280.
10. Дробыш, С. В., Волков, А. А., Раневое покрытие, Патент РФ № 2314834.
11. Jinjun, L., Weiyi, S., Qiangbay, L., Nano-silver anti-cancer composition for treating lung cancer as well as preparation method and application thereof, Patent CN № 103933067.
12. Wenbo, L., Nano-silver anti-infection hernia repair patch and preparation method thereof, Patent CN № 103893830.
13. Рыклин, Д. Б., Черников, И. И., Демидова, М. А. (2022), Разработка двухслойного нановолокнистого материала для косметологии, *Материалы докладов международной научно-технической конференции (ICTAI-2022)*, 2022, С. 27–30.
14. Рыклин, Д. Б., Ясинская, Н. Н., Демидова, М. А., Азарченко, В. М., Скобова, Н. В. (2020), Исследование влияния свойств растворов поливинилового спирта на структуру электроформованных материалов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, № 2(39), С. 130–139.
15. Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., Aiba, S. (2009), Biodegradability of Plastics, *International Journal of Molecular Sciences*, 2009, № 10 (9), pp. 3722–3742.
16. Ржеусский, С. Э. (2022), Наночастицы серебра в медицине, *Вестник Витебского государственного медицинского университета*, 2022, № 21(2), С. 15–24.
17. Кривошеев, А. Б., Хван, Л. А., Бобохидзе, Д. Н., Кривошеева, И. А., Морозов, Д. В., Артюшин, В. А. (2018), Генерализованная аргирия, *Российский журнал кожных и венерических болезней*, 2018, № 21(2), С. 101–105.
8. Mritunjai, S., Shinjini, S., Prasada, S., Gambhir, I. S. (2008), Nanotechnology in medicine and antibacterial effect of silver nanoparticles, *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 2008, № 3, pp. 115–122.
9. Baranova, O. A., Pakhomov, P. M., A method for producing films with nanostructured silver [Sposob polucheniya plenok s nanostrukturnym serebrom], Patent RF № 2542280.
10. Drobys, S. V., Volkov, A. A., Wound coating [Ranevoe pokrytie], Patent RF № 2314834.
11. Jinjun, L., Weiyi, S., Qiangbay, L., Nano-silver anti-cancer composition for treating lung cancer as well as preparation method and application thereof, Patent CN № 103933067.
12. Wenbo, L., Nano-silver anti-infection hernia repair patch and preparation method thereof, Patent CN № 103893830.
13. Ryklin, D. B., Chernikov, I. I., Demidova, M. A. (2022), Development of a two-layer nanofiber material for cosmetology [Razrabotka dvuh-slojnogo nanovoloknistogo materiala dlya kosmetologii], *Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (ICTAI-2022) (ICTAI-2022)*, 2022, pp. 27–30.
14. Ryklin, D. B., Yasinskaya, N. N., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M., Skobova, N. V. (2020), Investigation of the effect of the properties of polyvinyl alcohol solutions on the structure of electroformed materials [Issledovanie vliyaniya svoystv rastvorov polivinilovogo spirta na strukturu elektroformovannykh materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2020, № 2(39), pp. 130–139.
15. Tokiwa, Y., Calabia, B. P., Ugwu, C. U., Aiba, S. (2009), Biodegradability of Plastics, *International Journal of Molecular Sciences*, 2009, № 10 (9), pp. 3722–3742.

18. Войнар, А. И. (1962), *Микроэлементы в живой природе*, Москва, Высшая Школа, 94 с.
19. Матвеев, А. Т., Афанасов, И. М. (2010), *Получение нановолокон методом электроформования*, Москва, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 83 с.
20. Рыклин, Д. Б., Демидова, М. А., Азарченко, В. М., Скроцкая, К. В. (2021), Обоснование закона распределения нановолокон по диаметру в материалах, полученных методом электроформования, *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 2021, № 4, С. 121–128.
16. Rzeusskij, S. E. (2022), Silver nanoparticles in medicine [Nanochasticy serebra v medicine], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Medical University*, 2022, № 21(2), pp. 15–24.
17. Krivosheev, A. B., Hvan, L. A., Bobohidze, D. N., Krivosheeva, I. A., Morozov, D. V., Artyushin, V. A. (2018), Generalized argyria [Generalizovannaya argiriya], *Rossiiskij zhurnal kozhnyh i venericheskikh boleznej – Russian Journal of Skin and Venereal Diseases*, 2018, № 21(2), pp. 101–105.
18. Vojnar, A. I. (1962), *Trace elements in wildlife* [Mikroelementy v zhivoj prirode], Moscow, Higher School, 94 p.
19. Matveev, A. T., Afanasov, I. M. (2010), *Production of nanofibers by electrospinning* [Polucheniye nanovolokon metodom elektroformovaniya], Moscow, State University named after M.V. Lomonosov, 83 p.
20. Ryklin, D. B., Demidova, M. A., Azarchenko, V. M., Skrockaya, K. V. (2021), Substantiation of the law of distribution of nanofibers by diameter in materials by electrospinning, [Obosnovanie zakona raspredeleniya nanovolokon po diametru v materialah, poluchennyh metodom elektroformovaniya], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti – Proceedings of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology*, 2021, № 4, pp. 121–128.

Статья поступила в редакцию 13. 05. 2023 г.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ ИЗ ОТХОДОВ ТОРФА И ОСАДКОВ ХИМИЧЕСКОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ ТЭЦ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА

APPLICATION OF COMPLEX ADDITIVE FROM PEAT WASTES AND SEDIMENTS OF CHEMICAL WATER TREATMENT OF THERMAL POWER PLANT IN PRODUCTION OF CERAMIC BRICKS

УДК 691.4

А.В. Гречаников^{1*}, А.С. Ковчур¹, П.И. Манак²,
И.А. Тимонов¹

¹Витебский государственный технологический университет

²ОАО «Обольский керамический завод»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-77-89>

A. Hrachanikau^{1*}, A. Kauchur¹, P. Manak²,
I. Tsimanav¹

¹Vitebsk State Technological University

²Obolsky Ceramic Plant JSC

РЕФЕРАТ

ТОРФ, КОМПОЗИЦИОННАЯ ДОБАВКА, ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОДУКТЫ, ОСАДКИ ХИМВОДОПОДГОТОВКИ, ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛИ, КИРПИЧ КЕРАМИЧЕСКИЙ

Целью работы являлась оценка эффективности использования композиционной добавки на основе осадков химводоподготовки ТЭЦ и углесодержащих компонентов (торфа) при изготовлении керамического кирпича. Рассмотрена целесообразность использования торфосодержащих компонентов в сочетании с непрокалёнными осадками химводоподготовки теплоэлектростанций в качестве добавки в керамическую массу при производстве различных изделий. Представлено решение технической задачи введением в стандартную керамическую массу для производства строительного кирпича, дополнительно торфа фракции 0,5–5 мм в количестве 2–3,5 мас.% и непрокалённых осадков химводоподготовки теплоэлектростанций в количестве до 10 мас.%. На ОАО «Обольский керамический завод» изготовлены опытные образцы керамического кирпича с композиционной добавкой углесодержащих компонентов (торфа) и осадков химической водоподготовки. Исследова-

ABSTRACT

PEAT, COMPOSITE ADDITIVE, TECHNOGENIC PRODUCTS, SEDIMENTS OF CHEMICAL WATER TREATMENT, THERMAL POWER PLANTS, CERAMIC BRICK

The purpose of the work was to assess the effectiveness of using a composite additive based on the sediments of chemical water treatment of thermal power plants and coal-containing components (peat) in the manufacture of ceramic bricks. The feasibility of using peat-containing components in combination with non-calcined sediments of chemical water preparation of thermal power plants as an additive to the ceramic mass in the production of various products is considered. Solution of technical problem is presented by additionally introducing peat with fraction of 0.5–5 mm in amount of 2–3.5 wt% and non-calcined sediments of chemical water preparation of heat and power plants in amount of up to 10 wt% into standard ceramic mass for production of building bricks. At Obolsky Ceramic Plant, prototypes of ceramic bricks with a composite additive of coal-containing components (peat) and chemical water treatment deposits were made. Studies of the physical and mechanical properties of the prototypes showed that the resulting ceramic brick corresponds to

* E-mail: grec_alex@rambler.ru (A. Hrachanikau)

ния физико-механических свойств опытных образцов показали, что полученный керамический кирпич соответствует СТБ 1160-99 «Кирпич и камни керамические. Технические условия».

СТБ 1160-99 «Ceramic bricks and stones. Specifications».

Рациональное использование природных ресурсов в настоящее время приобретает особое значение. Сложившаяся ситуация в области образования, накопления и размещения отходов топливно-энергетической отрасли ведет к загрязнению окружающей среды. В тоже время, использование отходов топливно-энергетической отрасли в качестве вторичных ресурсов развито недостаточно. Учитывая результаты проведенных исследований [1] перспективным является их применение в качестве добавки в керамические материалы.

Основными сырьевыми материалами для производства керамических изделий являются глины и каолины. Наряду с этим широко используются смеси с различными добавками, например плавнями, отошающими, порообразующими, пластифицирующими. В литературе и патентообладательской информации имеются сведения о влиянии различных добавок на физико-механические свойства керамических изделий. Отошающие и выгорающие добавки такие, как шамот, торф и т. п., вводятся в состав керамической массы для понижения пластичности и уменьшения воздушной и огневой усадки глин. Порообразующие материалы (молотые мел, доломит) вводят в сырьевую массу для повышения пористости и понижения теплопроводности. Эти добавки при обжиге выделяют диоксид углерода. А отошающие и выгорающие добавки (торф, древесные опилки, измельченный бурый уголь, отходы углеобогачительных фабрик и лигнин) способствуют равномерному спеканию керамического изделия. Плавни (полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк) добавляются для снижения температуры спекания глины.

Целью представленной работы является оценка эффективности использования композиционной добавки на основе осадков химводоподготовки ТЭЦ и углесодержащих компонентов (торфа) при изготовлении керамического кирпича.

Объектом исследования является керамическая масса для изготовления кирпича керамического рядового полнотелого одинарного КРО, включающая композиционную добавку на основе осадков химводоподготовки ТЭЦ «Южная» ОАО «Витязь» и отходов дробленого торфа.

Исследования возможности использования отходов углесодержащих компонентов при производстве различных строительных материалов проводились в разных странах достаточно давно. Например, в работах В.З. Абдрахимова с соавторами обоснована возможность и целесообразность использования для производства керамического материала шлака от сжигания бурого угля Канско-Ачинского бассейна на Красноярской ТЭЦ-2 [2, 3]. Установлено, что шлак, имея повышенные содержания оксидов железа, кальция и щелочей способствует спеканию керамических материалов при относительно невысоких температурах обжига. Получены легковесные (теплоизоляционные) и высокопрочные кирпичи без применения природных традиционных материалов с высокими физико-механическими показателями.

Большие запасы торфа в Республике Беларусь, многообразие его вещественного состава, полифункциональность свойств и разнотипность структуры на макро-, мезо-, микро- и электронном уровнях позволяют рассматривать его, как ценный источник сырья для энергосберегающего производства новых строительных материалов с заданными свойствами. Согласно принятой классификации [4], торфы по условиям генезиса делят на три типа: низинный, переходный и верховой. Низинный торф отлагается в условиях богатого минерального питания и связан с высоким уровнем грунтовых вод. Он характеризуется повышенной зольностью (>10 %), его кислотность близка к нейтральной ($pH = 6.5 - 7.0$) и имеет значительную степень разложения. Переходный торф характеризуется средней зольностью (5–10 %) и слабокислой реакцией

($pH = 4.5-5.5$). Верховой торф формируется в условиях бедного минерального питания с низкой зольностью (до 5 %) и с кислой средой ($pH = 3.2-4.2$).

Все три вида торфа отличаются различным содержанием битумных, водорастворимых веществ, легкогидролизуемых, редуцирующих, трудногидролизуемых, гуминовых кислот [4, 5].

В настоящее время разработаны способы и технологические процессы использования торфосодержащих добавок при производстве керамических материалов, гидрофобных, гидрофильных и амфотерных комплексов, связующих и поверхностно-активных соединений [6]. Целесообразность выделения тех или иных веществ из торфа определяется направлением их использования в технологии получения материалов различного технического назначения. Несмотря на достаточно изученное направление, исследования по использованию торфосодержащих компонентов в качестве добавок в керамическую массу при производстве различных изделий ведутся и в настоящее время [7, 8]. В работах Саркисова Ю.С. показано, что направленный выбор типа торфа, способов его активации и модификации определяется технологическими особенностями синтеза материалов и их влиянием на эксплуатационные свойства изделий на их основе [6]. Особое значение при добавлении торфосодержащих компонентов при производстве керамического кирпича является расчет и выбор технологических параметров формующего и сушильно-обжигового оборудования.

Торф представляет собой сложную полидисперсную многокомпонентную неоднородную полукolloидно-высокомолекулярную систему, состоящую обычно из трех фаз – твердой, жидкой и газообразной. Размеры отдельных частиц твердой фазы торфа или его скелета весьма разнообразны и изменяются от нескольких миллиметров до долей микрометра. На границе раздела между отдельными фазами действуют поверхностные силы, обуславливающие в торфе существование поверхностной энергии и ряда особых свойств, присущих дисперсным системам. Уникальность торфа как природного образования состоит в том, что он, благодаря содержанию большого разнообразия органических и неорганических компонентов, является универсаль-

ным структурообразователем. Определяющее значение в этом принадлежит содержащимся в торфе гуминовым веществам. Установлено, что ионообменная способность торфа изменяется в пределах от 1000 до 250 мг-экв/100 г сухого вещества, 65–70 % объемной емкости приходится на долю гуминовых веществ, 20–30 % – на долю углеводного комплекса и 5–10 % на долю негидролизуемого остатка – лигнина.

Таким образом, торф и глинистые материалы по своим свойствам объединяются высокой дисперсностью и гидрофильностью и способности к сорбции и ионному обмену. Высокая чувствительность структуры торфа к ионообменным процессам оказывает возможность управления и обеспечения оптимальных условий структурообразования при добавлении к глинистым системам в процессе сушки и обжига керамического образца.

Обычно концентрацию дисперсной фазы в дисперсной системе, при которой происходит качественное изменение свойств системы, называют критической концентрацией структурообразования. При достижении такой концентрации в дисперсной системе самопроизвольно возникает пространственная структура из взаимодействующих между собой частиц. Взаимодействие частиц через тонкую прослойку жидкой фазы приводит к формированию коагуляционных контактов. После разрушения эти контакты обратимо восстанавливаются, и это свойство называется «тиксотропия». Именно поэтому производят увлажнение глиняного сырья и его перемешивание – разрушают коагуляционные контакты. И именно поэтому выгорающие добавки, по известным техническим решениям, тоже имеют высокую влажность – для уменьшения концентрации дисперсной фазы глиняного сырья и предотвращения структурообразования до момента формования. Выгорающие добавки могут иметь низкую влажность, поскольку имеют форму гранул с прочной оболочкой и значительно медленнее поглощают влагу из глиняного сырья, не увеличивая концентрацию дисперсной фазы.

Кроме того, выгорающие добавки вводятся в глиняное сырье непосредственно перед формованием с минимальным временем на поглощение влаги выгорающими добавками из глиня-

ного сырья. После формования глиняного сырья выгорающие добавки, равномерно распределенные по объему кирпича сырца, постепенно поглощают влагу, ускоряют при этом структурообразование и коагуляционные процессы в глиняном сырье, а во время сушки способствуют более равномерной сушке во всем объеме кирпича и, следовательно, уменьшению возникающих при сушке напряжений, что ведет к повышению качества готовой продукции [2].

Одним из вариантов модифицирования гранул торфа является создание на гранулах гидрофобной оболочки. Такая оболочка увеличивает время нахождения сухих гранул во влажном глиняном сырье. А в процессе сушки кирпича сырца и его обжига приводит к уменьшению скорости поглощения влаги торфом, равномерно распределенном по объему кирпича сырца и более равномерной сушке без возникновения в кирпиче внутренних напряжений. Однако дополнительная операция по модифицированию гранул торфа приведет к удорожанию разрабатываемого технологического процесса, что скажется на цене готовой продукции.

В производственных условиях ОАО «Обольский керамический завод» в рамках 2018 – Х/Д № 205 № ГР 20181866 была исследована возможность использования композиционной добавки на основе осадков химводоподготовки ТЭЦ и отходов дробленого торфа фракцией 0,5–5,0 мм при производстве керамического кирпича с целью снижения энергетических затрат, повышения физико-механических свойств изделия и снижения себестоимости готовой продукции.

На ОАО «Обольский керамический завод» торф уже используется в качестве выгорающей добавки при производстве керамического кирпича. Для этого применяется торф дробленый фракции 0,5–5,0 мм. Выгорающая добавка изготавливается из брикета топливного (СТБ 1919-2008 «Брикеты топливные на основе торфа») [9]. Средняя относительная влажность торфа 43,9 %. Зерновой состав торфа дробленого после рассева составляет: 3–5 мм – 3,34 %; 2–3 мм – 19,4 %; 1–2 мм – 34,34 %; 0,5–1 мм – 12,65 %; 0,25–0,5 мм – 11,36 %; менее 0,25 мм – 18,91%. Количество вводимых компонентов в шихту составляет, % масс: глина – 75; песок – 15; шамот – 5; торф – 5. Из указанного состава производится кирпич керамический полнотелый одинарный (КРО) маркой по прочности М175. В таблице 1 представлены показатели обычной продукции – кирпича КРО и показатели продукции – кирпича КРО с добавлением торфа.

Для кирпича керамического полнотелого одинарного с маркой по прочности М175 СТБ 1160-99 «Кирпич и камни керамические. Технические условия» [10] устанавливает следующие требования (средние для 5-ти образцов):

- предел прочности при сжатии – не менее 17,5 МПа;
- водопоглощение должно быть не менее 8 %;
- геометрические размеры: длина – 250±5 мм; ширина – 120±4 мм; толщина – 65±3 мм.

Как видно из таблицы 1 физико-механические свойства и геометрические размеры кирпича с добавлением торфа отвечают требованиям СТБ 1160-99 [10,11]. В работе [11] авторами

Таблица 1 – Показатели кирпича КРО обычного и с добавлением торфа (усреднённые значения)

Показатели обычного кирпича КРО				Показатели кирпича КРО с добавлением торфа			
Масса, г		Размеры, мм	Прочность при сжатии, МПа	Масса, г		Размеры, мм	Прочность при сжатии, МПа
форм	гот.			форм	гот.		
4701	3565	248,7×119,9×65	20,2	4060	3350	248,9×120,2×65	18,72
Средняя плотность			1,84 г/см ³	Средняя плотность			1,72 г/см ³
Водопоглощение			16,5-17,5 %	Водопоглощение			16,95 %

проведены исследование влияния высококалорийных и низкокалорийных выгорающих добавок на характеристики поризованной керамики.

Исходя из анализа литературных источников и патентного поиска, при производстве кирпича и камня керамического отходы торфа в сочетании с непрокалёнными осадками химводоподготовки теплоэлектроцентралей не применялись. Поставленная задача решается тем, что керамическая масса для производства строительного кирпича, содержащая легкоплавкую глину, дополнительно содержит шамот, песок, торф фракции 0,5–5,0 мм и непрокалённые осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей при следующем соотношении компонентов, мас. % (таблица 2) [12].

В качестве добавки в керамическую массу вводят измельчённый торф фракции 0,5–5,0 мм и непрокалённые осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей. Торф имеет массовую долю зерен фракции: более 5 мм – до 10 %, ме-

нее 5 мм – 90–100 %, средняя относительная влажность торфа – 40 %. Осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей представляют собой пастообразную массу коричневого цвета с рабочей влажностью 17–20 %. Результаты исследований химического и фазового состава осадков химической водоподготовки ТЭЦ, представлены в работах [13, 14].

Оксидный состав (усредненное содержание) непрокалённых осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей представлен в таблице 3.

Для того, чтобы снизить вредное влияние на физико-механические и эксплуатационные свойства кирпича наличия в осадках химической водоподготовки ТЭЦ фаз кальцита (CaCO_3) и оксида кальция (CaO), осадки химической водоподготовки ТЭЦ проходили интенсивную механическую активацию [14].

Гранулометрический состав шамота установлен методом сухого просеивания набором сит.

Таблица 2 – Состав керамической массы для производства кирпича

Компонент состава	Содержание, мас. %
шамот	2,0–3,5
песок	10–15
торф фракции 0,5–5,0 мм	2,0–3,5
непрокалённые осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей	до 10
легкоплавкая глина	остальное

Таблица 3 – Оксидный состав непрокалённых осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей (усредненное содержание)

Компонент состава	Содержание, мас. %
CaCO_3 и MgCO_3	71,1
SiO_2	10,2
FeO	8,6
Al_2O_3	4,9
K_2O	1,2
ZnO	0,5
TiO_2	0,4
Na_2O	0,3
примеси	остальное

Результаты приведены в таблице 4.

Гранулометрический состав осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей установлен методом сухого просеивания набором сит. Результаты приведены в таблице 5.

Приготовление керамической массы для производства строительного кирпича производилось следующим образом. Легкоплавкая глина поступает в глинорыхлитель и дозируется питателем в соответствии с рецептурой в количестве 75–81 мас.%. Размеры кусков глины – не более 300 мм. Глина не должна иметь примесей вскрышных пород и растительного слоя. Карьерная влажность глины – 20,5–25,5 %. Отощающие и выгорающие добавки (шамот – 2,0–3,5 мас.%, торф фракции 0,5–5,0 мм – 2,0–3,5 мас.%) дозируются в соответствии с рецептурой питателем и подаются на линию приготовления отошающих добавок. В молотковой дробилке производится их измельчение. Шамот с размером фракции более 5 мм подается на домол в молотковую дробилку. Песок – 10–15 мас.% и непрокаленные осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей – 5–10 мас.% дозируются в соответствии с рецептурой, поступают на линию просева, где отсеивается крупная фракция (>8 мм). Затем из глинозапасника глина подается на глинорыхлитель, где производится её измельчение. Добавки подаются через питатели. Все компоненты глиномассы в заданных количествах поступают на смеситель, где перемешиваются, измельчаются и усредняются. Затем по конвейеру глиномасса

поступает в смеситель и далее в шнековый вакуумный пресс, где производится формирование кирпича. Начальная формовочная влажность глиномассы 18 ± 2 %. Резка на кирпичи осуществляется на автоматах однострунной и многострунной резки. Разряжение в вакуум-камере – $0,091 \pm 0,004$ МПа. Давление в голове прессы для полнотелого кирпича – $0,7–1,23$ кПа. Далее по конвейеру кирпич подается на сушильные вагонетки. Сушка осуществляется в туннельных сушилках непрерывного действия. Пдача теплоносителя верхняя, отбор – нижний. Теплоноситель – горячий воздух. Температура теплоносителя, поступающего в туннели 85 ± 10 °С. Относительная влажность кирпича на выходе из сушки $-3,0 \pm 2$ %. Срок сушки – 30–44 часа. Затем кирпич направляется на обжиг. Время обжига составляет 69 часов. Температура обжига для кирпича рядового составляет 980–1000 °С. Обобщенная структурная схема технологии изготовления керамического кирпича представлена на рисунке 1.

В производственных условиях ОАО «Обольский керамический завод» был изготовлен кирпич керамический полнотелый одинарный (КРО) маркой по прочности М175 и проведены его испытания, результаты которых представлены в таблице 6.

На рисунке 2 приведена дериватограмма шихты, содержащей в качестве выгорающей добавки торф и осадки водоподготовки.

На кривой энтальпии ДТА шихты с торфом наблюдается три эндотермических эффекта и

Таблица 4 – Гранулометрический состав шамота

	Размер частиц (остаток на сите), мм					
	Менее 0,25	0,50–0,25	2,0–0,5	2–1	3–2	5–3
Массовая доля зёрен, %	30,0–13,5	5–20	10,0–0,5	20–40	10–20	2,5–7,0

Таблица 5 – Гранулометрический состав осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей

	Размер частиц (остаток на сите), мм					
	Менее 0,1	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
Количество, %	21,5	11,1	22,9	13,1	9,6	20,3

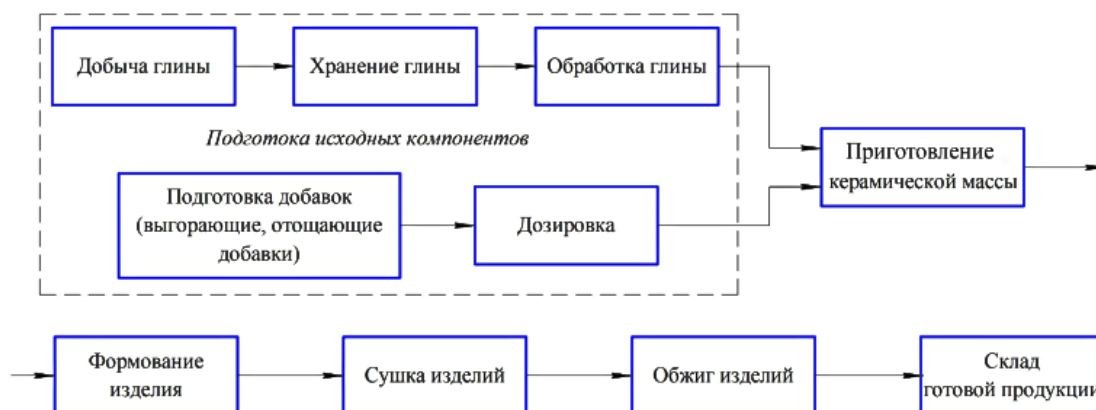


Рисунок 1 – Структурная схема технологии изготовления керамического кирпича

Таблица 6 – Физико-механические показатели кирпича

Наименование показателя	Нормированное значение показателей по СТБ 1160-99 (кирпич керамический полнотелый одинарный с маркой по прочности М175)	Среднее значение показателей для пяти образцов	
		Соотношении компонентов керамической массы для производства строительного кирпича (мас.%)	
		– легкоплавкая глина 81; – шамот – 2,0; – песок – 10; – торф фракции 0,5–5,0 мм – 2,0; – непрокаленные осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей – 5	– легкоплавкая глина 75; – песок – 11,5; – торф фракции 0,5–5,0 мм – 3,5; – непрокаленные осадки химводоподготовки теплоэлектроцентралей – 10
1. Морозостойкость, марка	F 35	35	35
2. Предел прочности при сжатии, МПа	не менее 17,5	30,2	33,1
3. Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 3,1	4,7	4,3
4. Водопоглощение, %	не менее 8	14,5	14,5

три экзотермических эффекта. Первый эндотермический эффект с минимумом при температуре 75 °С соответствует удалению физически связанной воды из шихты. Далее на кривой ДТА идут три экзотермических эффекта с максимумами при температурах 315, 400 и 500 °С, кото-

рые связаны с протеканием процессов пиролиза и окисления органических соединений в составе торфа, что подтверждается потерей массы. При температуре 550 °С наблюдается эндотермический эффект соответствующий процессу удаления химически связанной воды (дегидратации)

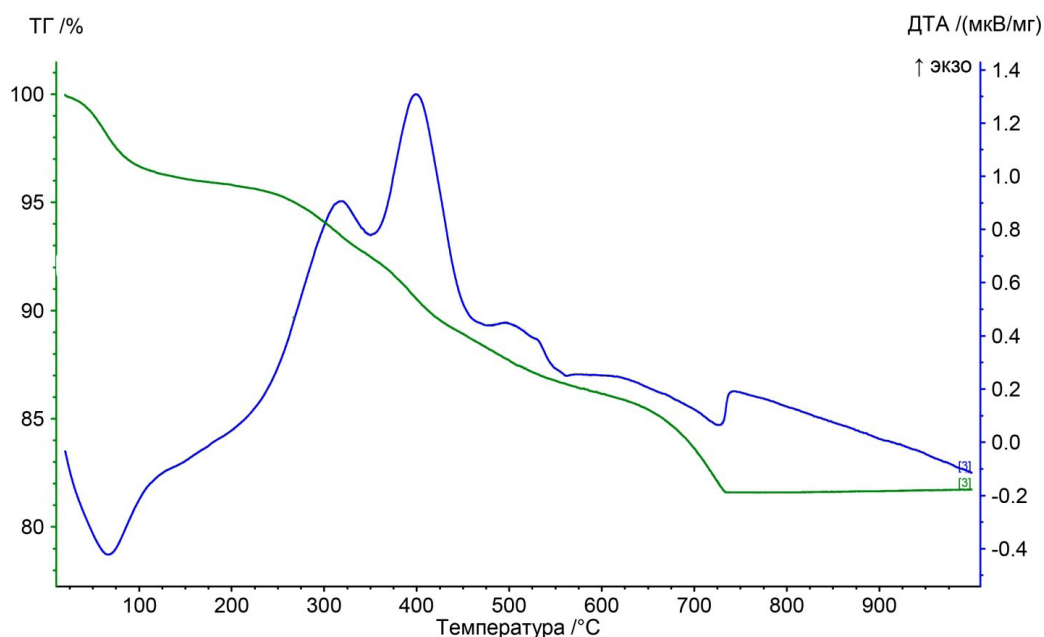


Рисунок 2 – Дериватограмма шихты с торфом

из глинистых минералов. Эндотермический эффект с минимумом при температуре 725 °C очевидно соответствует процессу разложения примесного карбоната магния, который входит в состав глин [15, 16].

На основании полученных дериватограмм можно сделать вывод о ступенчатом окислении торфа, при котором, основное количество тепла, выделяется в интервале температур 250–450 °C, что также подтверждается данными калориметрии. Окисление торфа сопровождается интенсивным газовыделением, и, соответственно, основной процесс порообразования также происходит в интервале температур 250–450 °C до начала спекания глинистых минералов. Следовательно, образующиеся газы формируют открытую каналообразующую пористость и могут безопасно выйти из черепка изделия, не разрушая его. Исследование структуры полученных образцов проводилось на изломе. На рисунке 3 представлена структура образцов с добавками при увеличении в 100 и 200 раз. Структура материала представлена равномерно распределёнными порами преимущественно сферической формы размерами 0,5–1 мм.

На рисунке 4 представлена структура образца, изготовленного с применением в качестве выгорающей добавки торфа и отходов водоподготовки, сделанная с использованием СЭМ Tescan Mira 3 LMN.

На фотографии структуры образца с добавками видны поры небольших размеров, в основном округлой формы с неровными краями.

На основании проведённых исследований с использованием различных выгорающих добавок можно сделать вывод о возможности изготовления изделий керамики с заданными характеристиками. Из полученных результатов (таблица 2) видно, что использование в качестве выгорающей добавки торфа до 3,5 % и осадков химводоподготовки в количестве до 10 % соответственно позволяет получить изделия, соответствующие требованиям СТБ 1160-99 (кирпич керамический полнотелый одинарный с маркой по прочности М175).

При этом с увеличением содержания торфа (с 3 до 5 %) и осадков химводоподготовки (с 5 % до 10 %) приводит к увеличению предела прочности при сжатии с 30,2 МПа до 33,1 МПа, но в тоже время к снижению предела прочности

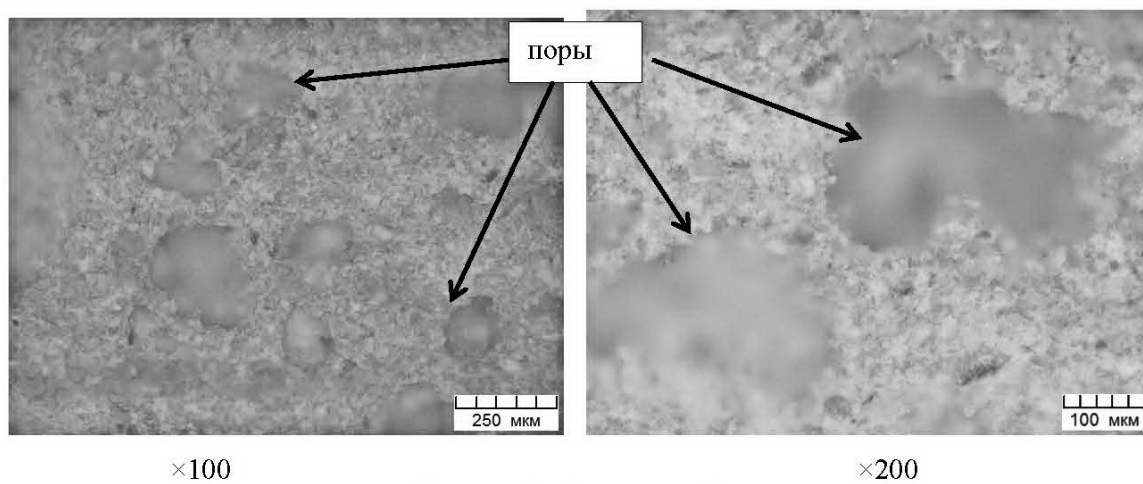


Рисунок 3 – Структура образца

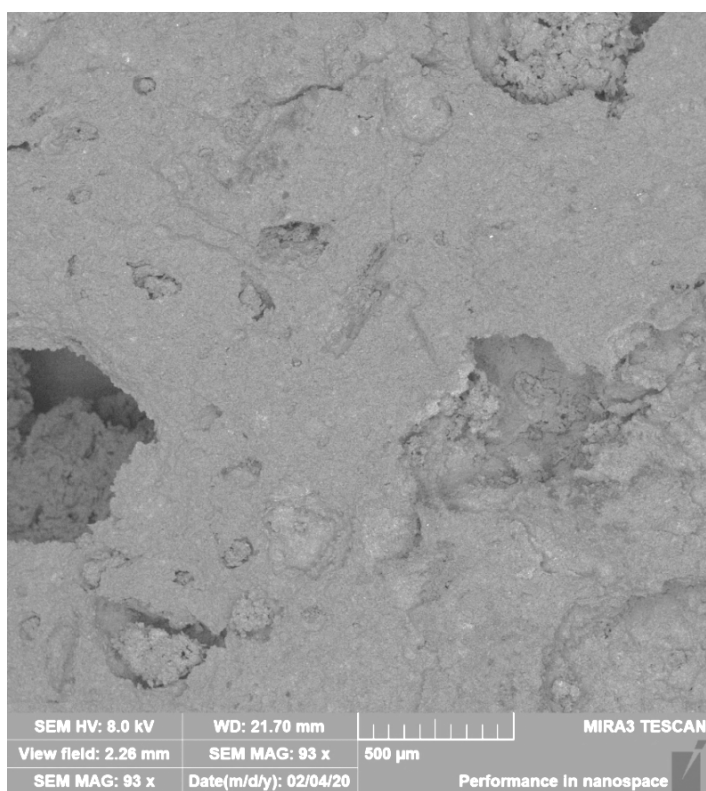


Рисунок 4 – Структура образца с добавками

при изгибе с 4,7 **МПа** до 4,3 **МПа**. При этом водопоглощения изделий не изменяется, однако наблюдается его существенный рост (до 14,5 %) по сравнению с нормативным показателем. Торф, выгорая до начала спекания глиняного черепка, создает первоначальную пористость, что в свою очередь обеспечивает выделение дополнительного тепла по всему объёму материала в температурном интервале начала спекания черепка, а отходы водоподготовки мелких фракций способствуют стабилизации механических свойств, за счет формирования более равномерной гранулированной структуры.

ВЫВОД

Проведенные на ОАО «Обольский керамический завод» исследования физико-механических свойств образцов керамического кирпича показали эффективность использования композиционной добавки из торфа фракцией

0,5–5,0 **мм** и непрокаленных осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей. Полученный кирпич соответствует требованиям СТБ 1160-99 «Кирпич и камни керамические. Технические условия». Добавление торфа фракции 0,5–5 **мм** в количестве 2–3,5 мас.% и непрокаленных осадков химводоподготовки теплоэлектроцентралей в количестве до 10 мас.% при производстве изделий из керамической массы способствует равномерной сушке во всем объеме кирпича, уменьшению возникающих при сушке напряжений, определяющих повышение физико-механических свойств керамических изделий. Результаты работы апробированы, имеют практическую значимость, планируются к внедрению в производство и получены документы, подтверждающие право собственности на результаты интеллектуальной деятельности (патент ВУ № 23584 и патент №2763232 Российской Федерации) [17, 18].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Дворкин, Л. И., Дворкин, О. Л. (2007), *Строительные материалы из отходов промышленности: учебно-справочное пособие*, Ростов н/Д, Феникс, 2007, 368 с.
2. Абдрахимов, В.З., Хасаев, Г.Р., Абдрахимова, Е.С., Колпаков, А. В. (2013), Использование углеродсодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения, *Экология и промышленность России*, 2013, № 9, С. 30–33.
3. Абдрахимов, В. З., Абдрахимова, Е. С. (2014), Использование шлака от сжигания угля Канско-Ачинского бассейна в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины, *Экология и промышленность России*, 2014, № 3, С. 36–39.

REFERENCES

1. Dvorkin, L. I., Dvorkin, O. L. (2007), *Stroitel'nye materialy iz otkhodov promyshlennosti: uchebno-spravochnoe posobie* [Construction materials from industrial waste: training and reference manual], Rostov n/D, Phoenix, 2007, 368 p.
2. Abdrakhimov, V. Z., Khasaev, G. R., Abdrakhimova, E. S., Kolpakov, A. V. (2013), Ispol'zovanie uglerodsoderzhashchikh otkhodov toplivno-energeticheskogo kompleksa v proizvodstve keramicheskikh materialov razlichnogo naznacheniya [Use of carbon-containing wastes of the fuel and energy complex in the production of ceramic materials for various purposes], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii – Ecology and industry of Russia*, 2013, № 9, pp. 30–33.
3. Abdrakhimov, V. Z., Abdrakhimova, E. S. (2014), Ispol'zovanie shlaka ot szhiganiya uglya Kanskoy-Achinskoy basseyne v proizvodstve keramicheskikh materialov na osnove

4. Абрамец, А. М., Лиштван, И. И., Чураев, Н. В. (1992), *Массоперенос в природных дисперсных системах*, Минск, 288 с.
5. Касицкая, Л. В., Саркисов, Ю. С., Горленко, Н. П., Копаница, Н. О., Кудяков, А. И. (2008), *Торфяные ресурсы Томской области и их использование в строительстве*, Томск, 2008, 232 с.
6. Саркисов, Ю. С., Горленко, Н. П., Наумова, Л. Б., Кудяков, А. И., Копаница, Н. О. (2008), Физико-химические особенности процессов активации и модифицирования торфа в технологии строительных материалов, *Вестник ТГПУ*, 2008, Выпуск 4 (78), С. 26–30.
7. *Способ производства поризованного строительного кирпича*, патент 2422409 Российская Федерация, 2010101916/03, заявлен 20.01.2010 ; опубликован 27.06.2011.
8. *Керамическая масса для производства кирпича*, патент 2617743, Российская Федерация, заявлен 04.05.2016, опубликован 26.04.2017.
9. СТБ 1919-2008. *Брикеты топливные на основе торфа*. Введ. 2008-02-24, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2008, 10 с.
10. СТБ 1160-99. *Кирпич и камни керамические. Технические условия*. Введ. 1999-06-02, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 1999, 47 с.
11. Волочко, А. Т., Азаркова, Е. А., Хорт, Н. А., Манак, П. И. (2021), Исследование влияния высококалорийных и низкокалорийных выгорающих добавок на характеристики поризованной керамики, *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*, 2021, С. 47–51.
12. СТБ 1450-2010. *Технологическая документация. Рецепттура. Общие требования к разработке*. Введ. 2010-08-30, Минск, Госстандарт Республики Беларусь, 2010, 12 с.
- mezhslantsevoy gliny [Use of slag from coal burning in the Kansk-Acha basin in the production of ceramic materials based on interlayer clay], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii – Ecology and industry of Russia*, 2014, № 3, pp. 36–39.
4. Abramets, A. M., Lishtvan, I. I., Churaev, N. V. (1992), *Massoperenos v prirodnykh dispersnykh sistemakh* [Mass transfer in natural dispersed systems], Minsk, 288 p.
5. Kasitskaya, L. V., Sarkisov, Yu. S., Gorlenko, N. P., Kopanitsa, N. O., Kudakov, A. I. (2008), *Torfyanye resursy Tomskoy oblasti i ikh ispol'zovanie v stroitel'stve* [Peat resources of Tomsk region and their use in construction], Tomsk, 2008, 232 p.
6. Sarkisov, Yu. S., Gorlenko, N. P., Naumova, L. B., Kudakov, A. I., Kopanitsa, N. O. (2008), *Fiziko-khimicheskie osobennosti protsessov aktivatsii i modifitsirovaniya torfa v tekhnologii stroitel'nykh materialov* [Physical and chemical features of peat activation and modification processes in construction materials technology], *Vestnik TGPU – TSPU Bulletin*, 2008, Release 4 (78), pp. 26–30.
7. *Sposob proizvodstva porizovannogo stroitel'nogo kirpicha* [Method of production of porous building bricks], patent 2422409 Russian Federation, 2010101916/03, filed 20.01.2010; published 27.06.2011.
8. *Keramicheskaya massa dlya proizvodstva kirpicha* [Ceramic mixture for brick production], patent 2617743 Russian Federation, filed 04.05.2016; published 26.04.2017.
9. STB 1919-2008. *Peat-based fuel briquettes*, Entered 2008-02-24, Minsk, Gosstandard of the Republic of Belarus publ., 2008, 10 p.
10. STB 1160-99. *The brick and stones are ceramic. Specifications*, Entered 1999-06-02, Minsk, Gosstandard of the Republic of Belarus publ.,

13. Манак, П. И., Ковчур, А. С., Гречаников, А. В., Тимонов, И. А. (2020), Техногенные продукты химической водоподготовки теплоэлектроцентралей как добавка к клинкерным керамическим материалам, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, № 1(38), С. 150.
14. Ковчур, А. С., Шелег, В. К., Жорник, В. И., Ковалева, С. А. (2020), Модифицирование керамического кирпича добавками неорганических техногенных продуктов водоподготовки ТЭЦ, *Наука и техника*, 2020, Т. 19, № 3, С. 204–214.
15. Волочко, А. Т., Подболотов, К. Б., Дятлова, Е. М. (2013), *Огнеупорные и тугоплавкие керамические материалы*, Минск, Беларуская навука, 2013, 385 с.
16. Волков, А. И., Жарский, И. М. (2005), *Большой химический справочник*, Минск, Современная школа, 2005, 608 с.
17. *Керамическая масса для производства строительного кирпича*, патент ВУ 23584, опубл. 30.12.2021.
18. *Керамическая масса для производства строительного кирпича*, патент 2773470, Российская Федерация, заявл. 18.08.2020, опубл. 06.06.2022.
- 1999, 47 p.
11. Volochko, A. T., Azarkova, E. A., Khort, N. A., Manak, P. I. (2021), *Issledovanie vliyaniya vysokokaloriynykh i nizkokaloriynykh vygo-rayushchikh dobavok na kharakteristiki porizovannoy keramiki* [Study of the effect of high-calorie and low-calorie burnout additives on the characteristics of tinted ceramics], *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Polotsk State University, Series F, Construction. Applied Sciences*, 2021, pp. 47–51.
12. STB 1450-2010. *Process documentation. Formulation. General requirements for development*, Entered 2010-08-30, Minsk, Gosstandard of the Republic of Belarus publ., 2010, 12 p.
13. Manak, P., Kauchur, A., Hrachanikau, A., Timonov, I. (2020), Technogenic products of chemical water treatment of thermal power plants as an additive to clinker ceramic materials [Tehnogennyye produkty khimicheskoy vodo-podgotovki teploelektrotsentralyey kak dobavka k klinkernym keramicheskim materialam], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2020, № 1(38), P. 150.
14. Kauchur, A. S., Sheleh, V. K., Zhornik, V. I., Kovaliova, S. A. (2020), Modification of a Ceramic Brick Additives of Inorganic Technogenic Products of Water Treatment of Combined Heat and Power Plant [Modifitsirovanie keramicheskogo kirpicha dobavkami neorganicheskikh tekhnogennykh produktov vodopodgotovki TETs], *Nauka i tekhnika – Science and Technique*, 2020, № 19(3), pp. 204–214.
15. Volochko, A. T., Podbolotov, K. B., Dyatlova, E. M. (2013), *Ogneupornye i tugoplavkie keramicheskie materialy* [Refractory and refractory ceramic materials], Minsk, Belaruskaya navuka, 2013, 385 p.
16. Volkov, A. I., Zharskiy, I. M. (2005), *Bol'shoy khimicheskiy spravochnik* [The Big Chemical

Reference Book], Minsk, Sovremennaya shkola, 2005, 608 p.

17. *Keramicheskaya massa dlya proizvodstva stroitel'nogo kirpicha* [Ceramic mixture for building brick production], patent BY 23584, published. 30.12.2021.

18. *Keramicheskaya massa dlya proizvodstva stroitel'nogo kirpicha* [Ceramic mixture for building brick production], patent 2773470, Russian Federation, filed. 18.08.2020, published 06.06.2022.

Статья поступила в редакцию 07.04.2023 г.

СВОЙСТВА ВОЛОКНИСТО-НАПОЛНЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ТИПА КОЖВОЛОН

PROPERTIES OF FIBER-FILLED POLYMER COMPOSITE MATERIALS OF LEATHERETTE TYPE

УДК 674.817

**К.О. Ермалович^{1*}, А.Н. Буркин¹, К.И. Тарутько^{1,2},
И.М. Грошев^{1,2}, Ю.В. Дойлин²**

¹Витебский государственный технологический университет

²ОАО «Витебскдрев»

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-90-101>

**K. Ermalovich^{1*}, A. Burkin¹, K. Tarutko^{1,2},
I. Groshev^{1,2}, Yu. Doylin²**

¹Vitebsk State Technological University

²Vitsebskdrev JSC

РЕФЕРАТ

ОТХОДЫ, ПЕНОПОЛИУРЕТАН, ДРЕВЕСНО-ВОЛОКНИСТАЯ МАССА, КОМПОЗИЦИОННЫЙ МАТЕРИАЛ, СВОЙСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ, СОСТАВЫ

Объектом исследования являются волокнисто-наполненные полимерные композиционные материалы из вторичных полиуретанов и дисперсных отходов деревообработки.

Предмет исследования – физико-механические свойства волокнисто-наполненных композиционных материалов.

Целью исследования является определение влияния процента вложения и морфологии древесных отходов на физико-механические свойства волокнисто-наполненных полимерных композиционных материалов для деталей низа обуви.

В статье проведены исследования параметров древесноволокнистой массы, используемой для создания волокнисто-наполненных композиционных материалов. Получены полимерные композиционные материалы типа кожволон с содержанием наполнителя 0–5,0 мас.%, исследованы их физико-механические свойства.

Практическая ценность результатов исследования состоит в получении материалов с определенным комплексом свойств, соответствующих требованиям ТНПА и находящимися в рамках традиционно используемых материалов для низа обуви, а также в установлении рецептурно-технологических возможностей

ABSTRACT

WASTE, POLYURETHANE FOAM, WOOD-FIBER MASS, COMPOSITE MATERIAL, PROPERTIES, TECHNOLOGY, COMPOSITIONS

The object of the study is fiber-filled polymer composite materials made of secondary polyurethanes and dispersed woodworking waste.

The subject of the study is the physical and mechanical properties of fiber-filled composite materials.

The aim of the study is to determine the influence of the percentage of investment and morphology of wood waste on the physical and mechanical properties of fiber-filled polymer composite materials for the shoe bottom parts.

The article studies the parameters of the wood-fiber mass used to create fiber-filled composite materials. Polymer composite materials of the leatherette type with a filler content of 0–5.0 wt% were produced, their physical and mechanical properties were investigated.

The practical value of the research results consists in producing materials with a certain set of properties that meet the requirements of regulatory documents and are within the framework of traditionally used shoe bottom materials, as well as in establishing prescription and technological capabilities to overcome the factor of natural deterioration of the properties of secondary shoe polyurethane foams by modifying wood-fiber waste.

* E-mail: ermalovich110600karina@mail.ru (K. Ermalovich)

преодоления фактора естественного ухудшения свойств вторичных обувных пенополиуретанов модифицированием древесноволокнистыми отходами.

Результаты работы – изготовлены материалы типа кожволон на основе отходов обувных пенополиуретанов и исследованы их физико-механические свойства. Древесные наполнители в виде волокнистых частиц можно рассматривать как недорогие добавки к полиуретановым матрицам, которые при определенных рецептурно-технологических параметрах формирования композита позволяют в некоторой степени компенсировать ухудшение физико-механических характеристик переработанного ППУ.

Область применения результатов – обувная промышленность.

Results of the work are materials of the leatherette type made on the basis of shoe polyurethane foam waste and their physical and investigation of their mechanical properties. Wood fillers in the form of fibrous particles can be considered as inexpensive additives to polyurethane matrices, which, under certain compounding and technological parameters of the composite formation, enable to compensate to some extent for the deterioration of the physical and mechanical characteristics of the recycled PPU.

The field of application of the results is the shoe industry.

Волокнисто-наполненными композиционными материалами (ВНKM) называют материалы, состоящие из дисперсной фазы, представленной волокнистыми частицами, и одного или нескольких других компонентов, играющих роль связующего (полимер, минерал и т. д.), между которыми имеется граница раздела фаз и адгезионное взаимодействие. Согласно данному определению волокнистые композиционные материалы представляет собой матрицу, армированную механическим каркасом в виде волокон, что наделяет материал высокой прочностью при относительно малой плотности [1].

Примером ВНKM, активно используемых в отечественном производстве для создания деталей низа модельной и повседневной обуви, является кожволон, или как его называют в производстве «тунит», кожеподобная резина. Кожволон представляет собой пористую резину, наполненную измельченными вискозными волокнами в количестве 1,0–5,0 мас.%, которые наделяют материал высокими физико-механическими показателями. Получают кожеподобные резины вальцеванием – основная операция в резиновом производстве, имеющая целью перевод каучука в пластическое состояние для введения необходимых составных частей резиновой смеси и дальнейшей обработки. Введение волокнистого наполнителя в резиновую смесь

позволяет улучшить кожеподобность резины, за счет чего достигается образование более равномерной пористой структуры и уменьшается скольжение подошв. В последнее время активно идет разработка рецептурных составов и технологий изготовления материалов, дающих при массовом производстве экономию в расходе энергии и не уступающих по свойствам импортному кожволону [2].

Научными сотрудниками ВГТУ разработана менее энергозатратная технология переработки отходов полиуретана (далее ПУ), которая использовалась на обувных предприятиях г. Витебска для производства подошв домашней обуви [3–8]. За основу данной технологии взята схема получения материалов на листовых агрегатах путем предварительной экструзии на шнековом экструдере и последующего формования материала в межвалковом зазоре листовальных вальцов [9, 10]. Однако вследствие физико-химических изменений, связанных с первичной переработкой и эксплуатацией в виде изделий, вторичные ПУ демонстрируют снижение технологических и механических свойств. Перспективу с точки зрения повышения уровня свойств композитов на основе отходов ПУ представляет их целевое модифицирование. Эта перспектива основана на известном опыте применения малых добавок некоторых дисперсных напол-

нителers, что в ряде случаев положительно сказывается на свойствах композитов на основе первичных полимеров [11].

В настоящее время ни одно даже самое экономное предприятие деревообработки не использует древесину на 100 %. Наряду с крупными отходами деревообработки ежемесячно образуются значительные объемы дисперсных отходов, использование которых в качестве топливных ресурсов не целесообразно. Решением проблемы утилизации дисперсных отходов ОАО «Витебскдрев» является их вторичное использование в качестве наполнителя для получения полимерных композиционных материалов (далее ПКМ) типа кожволон. Применение предлагаемого способа использования отходов древесноволокнистой массы обеспечит значительный экологический эффект за счет сокращения площадей, используемых под их складирование; позволит сократить выброс в атмосферный воздух близлежащих территорий твердых загрязняющих древесных частиц. Основными преимуществами создания композитов, модифицированных древесным наполнителем, является не только решение проблемы утилизации отходов, но и их низкая стоимость, размерная стабильность и физико-механические свойства, не уступающие кожволону.

В данной работе рассматривается возможность получения материалов типа кожволон используя в качестве матрицы отходы пенополиуретанов (далее ППУ), а в качестве наполнителя древесноволокнистые отходы ОАО «Витебскдрев». Формирование полимерного композита сопровождается механическими или физико-химическими взаимодействиями ингредиентов, находящихся в различных агрегатных состояниях. Соотношение компонентов, а также совершенствование рецептуры армирования полимерной матрицы древесными наполнителями позволяет изготавливать ПКМ, обладающие специальными (специфическими) свойствами: повышенной прочностью, увеличением адгезии к металлам и другим материалам, электропроводностью, улучшением теплопроводности, снижением или повышением коэффициента трения, а также целевое регулирование многих других свойств [11].

Влияние волокнистых наполнителей на свойства композита зависит в значительной степени от свойств самого наполнителя. Поэтому для целесообразного и научно обоснованного создания композиций путем армирования необходимо знать характеристики наполнителей. Качественный анализ наполнителей заключается в оценке зернистости, формы и характера распределения частиц по размерам. От формы и размеров частиц зависят: плотность упаковки наполнителя, равномерность распределения частиц, площадь контакта со связующим, реологические, физико-механические и другие свойства [12].

Целью исследования является определение влияния процента вложения и морфологии древесных отходов на физико-механические свойства волокнисто-наполненных полимерных композиционных материалов для деталей низа обуви.

На деревообрабатывающих предприятиях качество ДВМ оценивают методом фракционирования волокон с помощью механических или оптических сортировщиков [5]. Однако влияние размера частиц наполнителя на прочностные свойства волокнистых до конца не установлено, что связано с изменением вместе с размерами частицы и такого параметра, как удельная поверхность. Эффективность введения наполнителя в полимеры во многих случаях определяется его удельной поверхностью ($S_{уд}$) [3]. Для наполнения полимеров используют наполнители с $S_{уд}$ от 0,01 до 1500 м²/г [12].

В данной работе в качестве наполнителя использовали волокнистые отходы ОАО «Витебскдрев» хвойных пород, образующиеся в результате производства древесных плит. Первичную древесноволокнистую массу для MDF-плит получают по методу «Асплунда», который заключается в размоле предварительно пропаренной щепы на волокна в мельнице – дефибраторе [13].

С помощью металлографического микроскопа Altami MET 5 были изучены особенности строения и внешний вид древесных волокон, что позволило отнести их к классу игольчатых, волокнистых частиц, представляющих собой сплюснутую в зависимости от толщины стенок трубочку (рисунок 1).

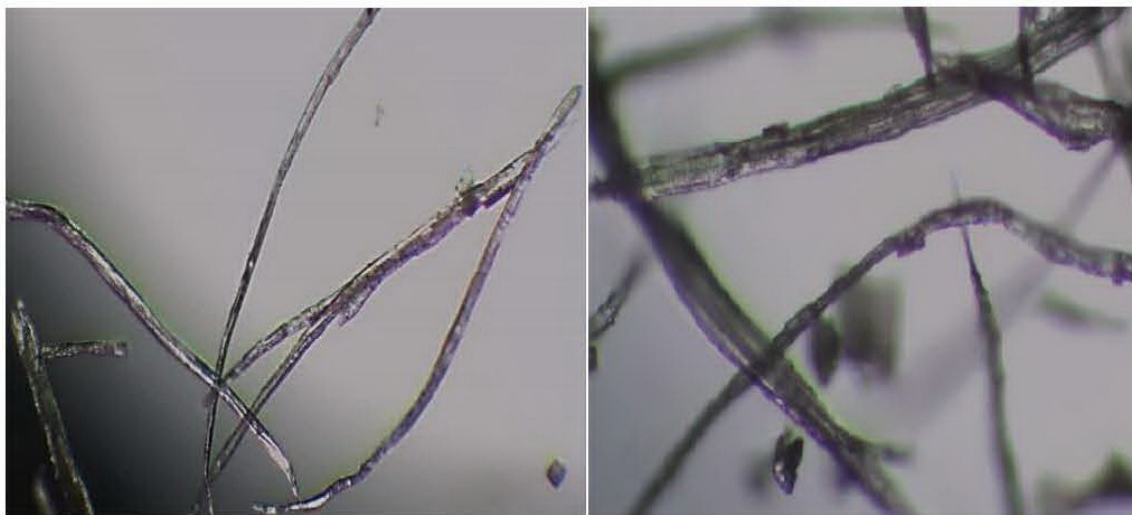


Рисунок 1 – Микроскопические снимки отходов древесного волокна (10X/0,25 BD, 20X/0,40 BD)

Во всех случаях волокнистая масса после размола неоднородна. В ней присутствуют: волокна, представляющие собой отдельные клетки древесины; пучки волокон, состоящие из двух или большего числа волокон; мелкие и крупные кусочки неразмолотой щепы («спички»); частицы волокон, перерезанных или раздавленных вдоль и поперек с растрепанными на концах фибриллами. Соотношение указанных составляющих массы различно и зависит от анатомического строения древесины и характеристики размольной гарнитуры [14]. Древесные волокна хвойных пород – это в основном (90–95 %) уже отмершие прозенхимные клетки, которые придают древесине волокнистое строение и выполняют механические и проводящие функции. Длина таких клеток во много раз больше ширины. У хвойных пород к прозенхимным клеткам относятся главным образом трахеиды, средняя длина которых составляют 3,2–3,5 *мм*, а наибольшая ширина равна 0,05 *мм* [15].

Древесноволокнистые отходы с целью разделения на фракции по размерным характеристикам помещали в лабораторный ультразвуковой ситоанализатор VU100, оснащенный стандартными ситами с размерами сетки для МДФ от 0,089 до 1,98 *мм* (таблица 1). Сортировщик VU100 позволяет определить правильную ра-

боту участков производства волокна, в соответствии с результатами его исследования настраивается оборудование изготовления и размола щепы, волокна, а также вносятся корректировки непосредственно в технологический процесс.

На ультразвуковом сортировщике в ходе данного исследования было проанализировано древесное волокно из двух партий по 5 бесповторных выборок, массой 10 г каждая. Волокнистые отходы, расположенные на верхнем сите с наибольшим размером ячеек, просеивались всухую в результате ультразвуковых вибраций и накапливались на ситах в соответствии с размерами ячейковой сетки (рисунок 2).

Процесс сортировки ДВМ на фракции занял не более 1 минуты. Затем каждое отдельное сито взвешивали на лабораторных весах, подсчитывали массу каждой фракции, получая в результате количественные данные о составе используемого материала (таблица 2). За средний размер частиц наполнителя принимали размер ячейковой сетки сита, на котором оседало волокно.

Для проверки однородности дисперсий нескольких выборок одинакового размера наибольшей мощностью обладает критерий Кохрена (William Cochran), который вычисляется по формуле:

Таблица 1 – Характеристика стандартных сит лабораторного ультразвукового ситоанализатора VU100

Сетки для МДФ			
№	Масса сетки, г	Размер ячеек, мм	Число ячеек на линейный дюйм (25,4 мм)
1	185,01	1,980	9,14
2	177,13	1,240	14,63
3	166,21	0,514	32,00
4	170,52	0,217	64,00
5	154,50	0,131	109,72
6	163,09	0,089	182,87
7	163,01	-	-



Рисунок 2 – Фракционное распределение древесного волокна на ситах

$$G_n = \frac{\max_{i=1}^k \sigma_i^2}{\sum_{i=1}^k \sigma_i^2}, \quad (1)$$

где $\max \sigma^2$ – максимальная дисперсия опыта;
 k – количество выборок.

Условие отклонения нулевой гипотезы (об однородности дисперсий):

$$G_n < G(\alpha; k; n), \quad (2)$$

где $G(\alpha; k; n)$ – критическое значение критерия Кохрена; k – количество выборок; n – число на-

Таблица 2 – Параметры древесноволокнистых отходов

№ выборки	Число наблюдений	$m_{\text{пробы}}, \text{г}$	$m_1, \text{г}$	$m_2, \text{г}$	$m_3, \text{г}$	$m_4, \text{г}$	$m_5, \text{г}$	$m_6, \text{г}$	$m_7, \text{г}$
1	1	10	2,01	2,51	1,77	1,21	1,43	0,76	0,31
	2		2,62	2,08	1,54	1,31	1,14	0,91	0,40
	3		1,94	1,46	1,98	1,11	1,53	1,37	0,61
	4		2,15	1,70	2,13	0,96	1,74	0,84	0,48
	5		1,82	2,16	1,72	1,06	1,41	1,03	0,80
2	1		2,09	1,39	2,27	1,80	0,98	0,99	0,48
	2		1,15	3,01	1,98	0,95	1,12	0,78	1,01
	3		2,70	1,96	1,26	0,79	1,73	1,08	0,48
	4		1,54	2,95	0,94	1,09	1,18	1,21	1,09
	5		1,91	3,12	2,01	0,75	0,84	1,07	0,30
$\bar{X}, \text{г}$			1,99	2,23	1,76	1,10	1,31	1,00	0,60
σ			0,46	0,64	0,41	0,30	0,31	0,19	0,28
σ^2			0,21	0,41	0,17	0,09	0,09	0,04	0,08
$CV, \%$			23,12	28,70	23,30	27,27	23,66	19,00	46,67
G_n			0,376						
$G_{(0.05;2;5)}$			0,906						

Примечание: m_1 – m_7 – масса пробы на ситах № 1–7 соответственно (таблица 1); $\bar{X}$ – среднее арифметическое массы волокон на соответствующих ситах; σ – стандартное квадратическое отклонение; σ^2 – дисперсия; V – коэффициент вариации; G_n – наблюдаемое значение критерия Кохрена.

блюдений в выборках ($n=n_1=n_2=\dots=n_k$); α – уровень значимости.

Согласно данным, представленным в таблице 2, наблюдаемое значение критерия Кохрена меньше, чем критическое значение данного критерия:

$$G_n < G_{(0,05;2;5)} . \quad (3)$$

Из этого следует, что нет основания для отклонения нулевой гипотезы, т. е. дисперсии можно считать однородными.

Исследуемая совокупность волокон считается однородной, так как коэффициент вариации не превышает 30 %.

Геометрическую удельную поверхность ($S_{\text{геом}}$) определяли расчетным путем (таблица 3) по формуле [11]:

$$S_{\text{геом}} = K/\rho/X_m, \quad (4)$$

где K – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц (для сфер $K = 6$, для призматических частиц $K = 12$, для тонких частиц $K = 18-30$); X_m – среднее значение размера частиц соответствующей фракции.

В научной литературе по анализу исследования измельчения древесных отходов описаны коэффициенты пропорциональности для различных пород древесины [16, 17]. Древесная частица представляет собой плоскую прямоугольную пластину ($K = 18$) [18, 11]. Согласно данным специалистов Центральной заводской лаборатории (далее ЦЗЛ), ОАО «Витебскдрев» для производства ДВП и МДФ использует древесноволокнистую массу, плотностью $\sim 1,5 \text{ г/см}^3$.

Таблица 3 – Расчет геометрической удельной поверхности ДВМ

№ фракции	$\rho, \text{г/см}^3$	K	$S_{\text{геом}}, \text{м}^2/\text{г}$
1	1,5	18	0,0061
2			0,0097
3			0,0233
4			0,0553
5			0,0916
6			0,1348
поддон			>0,1348

Данные таблицы 3 подтверждают, что геометрическая удельная поверхность ДВМ увеличивается за счет уменьшения размера частиц, т. е. чем выше степень помола волокна, тем больше его удельная поверхность массы [11].

На физико-механические свойства волокнисто-наполненного композита влияют степень размолла, удельная поверхность древесных частиц, вид и количество проклеивающего вещества, степень уплотнения слоев при прессовании и каландровании. Соотношение содержания волокнистого наполнителя и полимерного связующего являются определяющим фактором при создании композиционных материалов с заданными технологическими свойствами. При содержании проклеивающей композиции менее 10 % в расчете на смесь, волокна склеиваются лишь в отдельных точках. При содержании ДВМ свыше 25 % от общей массы между отдельными волокнами образуются пленки [19, с. 223].

В данной работе методом экструзии из гранулята отходов ППУ обувного предприятия ЧПУП «Обувное ремесло» (г. Витебск, Республика Беларусь), содержащего технологические добавки, получали экспериментальные образцы композиционных материалов с введением в матрицу древесноволокнистых отходов в количестве 0–5,0 мас.%. Предполагается, что изменяя процентное соотношение «полимер–наполнитель», можно получать отличительные по свойствам материалы, которые смогут найти свое применение на обувном производстве для создания полимерных КМ для деталей низа обуви.

Технология получения материалов типа кожволон состояла из следующих этапов: сортировка отходов, измельчение отходов ППУ на

дробилке роторно-ножевого типа, смешивание отходов ППУ и ДВ, пластикация в корпусе шнекового экструдера, прокатка.

Из полученных КМ на термопластавтомате «ТП EN30» изготавливали образцы в виде лопаток, столбиков и пластин, которые далее исследовали по показателям, представленным в таблице 4.

Зависимость свойств композитов от содержания наполнителя представлена в таблице 5.

Свойства полученных материалов варьируются $\rho - 1,22-1,25 \text{ г/см}^3$, $H - 86-92$ усл.ед., $E_p - 21,2-25,8 \text{ МПа}$, $\epsilon_p - 126-152 \%$ и по большинству показателей имеют достаточно близкие значения к материалам, применяемым в производстве обуви, а именно к кожеподобным резинам, что подтверждает возможность их использования для создания деталей низа (подшвы, набойки) повседневной обуви. При наполнении ДВ твердость и относительное удлинение при разрыве композита увеличиваются, достигая максимума при содержании ДВ 5 мас.%. Анализ результатов исследования показал, что для получения подошвенных материалов типа кожволон с наилучшими показателями содержание волокна составляет 5 мас.%. В случаях, когда конструктивные особенности изделий требуют использование композитов с повышенной твердостью, целесообразно использовать в композициях от 10 до 30 мас.%. наполнителя на 100 мас.%. полиуретановых отходов.

Для создания сменных набоек использование отходов полиуретана в чистом виде ограничивается из-за недостаточной их твердости. Для устранения данного недостатка сотрудниками ВГТУ предложена схема модифицирования

Таблица 4 – Характеристика показателей, методов и средств исследования физико-механических свойств волокнисто-наполненных ПКМ

Наименование показателя	Обозначение	Единица измерения	ГОСТ	Оборудование	Обработка результатов
Плотность	ρ	г/см ³	ГОСТ 267-73	Весы технические Radwag WLC 0,6/B1, штангенциркуль ШЦЦ-1-300	Определяется по формуле: $\rho = V/m$
Твердость по Шору А	H	усл.ед.	ГОСТ 263-75	Твердомер 2033 ТИР, секундомер	Среднее арифметическое всех измерений, округленное до целого числа
Относительное удлинение при разрыве	ϵ_p	%	ГОСТ 11262-80	Разрывная машина Instron 5657, Великобритания	Среднее арифметическое показателей всех испытанных образцов одного изделия. Значения показателей определяют по формулам, приведенным в ГОСТ
Модуль упругости	E_p	МПа	ГОСТ 11262-80	Разрывная машина Instron 5657, Великобритания	

Таблица 5 – Средние значения свойств материалов для подошв обуви

Показатель	ППУ гранулят	ППУ+1 мас.% ДВ	ППУ+2 мас.% ДВ	ППУ+3 мас.% ДВ	ППУ+4 мас.% ДВ	ППУ+5 мас.% ДВ	Кожволон
ρ , г/см ³	1,22	1,25	1,25	1,23	1,24	1,22	не менее 0,9
H , усл.ед.	86	86	88	88	90	92	не менее 80
E_p , МПа	23,9	22,1	25,2	25,8	24,1	21,2	не менее 21
ϵ_p , %	140	141	125	126	127	152	не менее 150

отходов ПУ древесными волокнами. Проведенные исследования дают основание считать, что с увеличением содержания модификатора достигается требуемая твердость полиуретанового пластика, но при этом наблюдается снижение некоторых эксплуатационных показателей. Физико-механические характеристики модифицированных композитов в большей степени зависят от прочности адгезионной связи полимера и

наполнителя. При этом наблюдается улучшение упруго-эластичных характеристик материала, выражающееся в снижении показателя относительного удлинения при разрыве по сравнению с исходным полиуретаном. Процесс наполнения вторичного полиуретана волокнистыми отходами от 1,0 до 5,0 мас.% повсеместно сопровождался увеличением твердости материала.

Таким образом, волокнисто-наполненные полимерные композиционные материалы из отходов обувного ППУ с содержанием древесного наполнителя в количестве 0,0–5,0 мас.% могут быть рекомендованы для создания материалов типа кожволон для деталей низа модельной и повседневной обуви, так как полученные материалы обладают высокой прочностью, хорошей формоустойчивостью, пластичностью и не уступают по свойствам импортному кожволону. Практическая ценность результатов исследования состоит в установлении рецептурно-технологических возможностей преодоления фактора естественного ухудшения свойств вторичных обувных пенополиуретанов. Древесные наполнители в виде волокнистых частиц можно рассматривать как недорогие добавки к полиуретановым матрицам, которые при определенных рецептурно-технологических параметрах формирования композита позволяют в некоторой степени компенсировать ухудшение физико-механических характеристик переработан-

ного ППУ. Сохранение прочности показателей и рост жесткости должны способствовать улучшению износостойкости изделий из таких композитов. Данные физические эффекты, по-видимому, обусловлены особым поведением дисперсных частиц при контакте с матрицей ППУ. Это – их способность проникать в остаточные поры, взаимодействовать друг с другом с формированием протяженных ориентированных структур. В совокупности это и позволяет рассматривать древесные наполнители как целевые модификаторы ППУ, реализующие при контакте с матрицей функцию структурирования и упрочнения.

В заключении необходимо отметить, что вторичное использование отходов кожевенно-обувных и деревообрабатывающих предприятий внесет значительный экологический и экономический эффект. Создание ВНКМ для деталей низа обуви позволит решать проблему импортозамещения таких кожеподобных материалов, как релак и тунит, поскольку сегодня наша страна все еще импортозависима в области обувной промышленности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Сушков, А. С. (2014), Формирование древеснокомпозиционных материалов из отходов деревообработки, *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*, 2014, № 2, С. 160–169.
2. Буркин, А. Н., Матвеев, К. С., Смелков, В. К., Солтовец, Г. Н. (2001), *Обувные материалы из отходов пенополиуретанов*, Витебск, 173 с.
3. Радюк, А. Н., Дойлин, Ю. В., Козлова, М. А., Буланчикова, И. А., Буркин, А. Н. (2020), Материалы и технологии получения изделий на основе отходов полиуретанов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2020, № 1(38), С. 100–112.
4. Шафигуллин, Л. Н., Соколова, Ю. А., Алоян, Р. М., Романова, Н. В., Миргасимов, И. И., Акулова, М. В.

REFERENCES

1. Sushkov, A. S. (2014), Formirovanie drevesno-kompozicionnyh materialov iz othodov derevoobrabotki [Formation of wood composite materials from woodworking waste], *Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*, 2014, №2, pp. 160–169.
2. Burkin, A. N. [i dr.] (2001), *Obuvnye materialy iz othodov penopoliuretanov* [Shoe materials from polyurethane foam waste], Vitebsk, 173 p.
3. Radyuk, A. N., Doylin, Yu. V., Kozlova, M. A., Bulanchikova, I. A., Burkin, A. N. (2020), Materialy i tekhnologii polucheniya izdelij na osnove othodov poliuretanov [Materials and technologies for producing products based on polyurethane waste], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological*

- (2019), Вторичная переработка изделий из пенополиуретана, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6 (384), С. 90–93.
5. Буркин, А. Н. [и др.] (2022), Получение материалов с заданными свойствами и минимальным количеством ингредиентов, *Полимерные композиты и трибология: международная научно-техническая конференция*, Гомель, 2022, С. 16.
 6. Радюк, А. Н. (2016), Обоснование показателей свойств материалов для оптимизации технологического процесса переработки отходов полиуретана, *Моделирование в технике и экономике, Сборник материалов докладов международной научно-практической конференции*, Витебск, 2016, С. 148–150.
 7. Шафигуллин, Л. Н., Соколова, Ю. А., Алоян, Р. М., Романова, Н. В., Миргасимов, И. И., Акулова, М. В. (2019), Вторичная переработка изделий из пенополиуретана, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6 (384), С. 90–93.
 8. Тимофеев, А. А., Шаповалов, В. М. (2021), Рецептурно-технологические аспекты целевого модифицирования вторичного полиуретана, *Полимерные материалы и технологии*, 2021, № 3, С. 80–87.
 9. Шаповалов, В. М., Зотов, С. В., Овчинников, К. В., Гольдаде, В. А., Радюк, А. Н., Соколова, Н. М., Борозна, В. Д., Ковальков, Н. С. (2018), *Гранулированная композиция для литья облегченных обувных подошв*, Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Витебский государственный технологический университет, № а 20180001, заявл. 03.01.2018, опубл. 30.08.2019, Бюл. № 4 (129).
 10. Радюк, А. Н. (2018), Получение и свойства композиционных полимерных материалов с волокнистым наполнителем, *Материалы University*, 2020, № 1 (38), pp. 100–112.
 4. Shafigullin, L. N., Sokolova, Yu. A., Aloyan, R. M., Romanova, N. V., Mirgasimov, I. I., Akulova, M. V. (2019), Vtorichnaya pererabotka izdelij iz penopoliiureтана [Recycling of polyurethane foam products], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, №6 (384), pp. 90–93.
 5. Burkin, A. N. [i dr.] (2022), Obtaining materials with specified properties and a minimum number of ingredients [Poluchenie materialov s zadannymi svojstvami i minimal'nym kolichestvom ingredientov], *Proceedings of the international scientific and technical conference "Polymer Composites and Tribology"*, Gomel, 2022, p. 16.
 6. Radyuk, A. N. (2016), Justification of indicators of properties of materials for optimization of technological process of processing of waste of polyurethane [Obosnovanie pokazatelej svojstv materialov dlya optimizacii tekhnologicheskogo processa pererabotki othodov poliuretana], *Proceedings of the international scientific and practical conference*, Vitebsk, 2016, pp. 148–150.
 7. Shafigullin, L. N., Sokolova, Yu. A., Aloyan, R. M., Romanova, N. V., Mirgasimov, I. I., Akulova, M. V. (2019), Vtorichnaya pererabotka izdelij iz penopoliiureтана [Recycling of polyurethane foam products], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, № 6 (384), pp. 90–93.
 8. Timofeenko, A. A., Shapovalov, V. M. (2021), Recepturno-tekhnologicheskie aspekty celevogo modifitsirovaniya vtorichnogo poliuretana [Prescription and technological aspects of targeted modification of secondary polyurethane], *Polymer materials and technologies*, 2021, № 3, pp. 80–87.
 9. Shapovalov, V. M., Zotov, S. V., Ovchinnikov, K. V., Goldade, V. A., Radyuk, A. N., Sokolova, N. M., Borozna, V. D., Kovalkov, N. S. (2018),

- V Respublik. nauchno-technich. konferencii molodyh uchenykh*, Gomel': IMMS NAN Belarusi, 2018, С. 27–28.
11. Гольдаде, В. А., Струк, В. А., Воронцов, А. С., Авдейчик, С. В. (2018), *Материаловедение и технология полимеров и композитов*, Гродно, ГрГУ, 351 с.
 12. Сафин, Р. Г., Саттарова, З. Г., Галиев, И. М., Салдаев, В. А. (2015), Композиционные материалы на основе древесных частиц и полимеров, *Вестник Казанского государственного технологического университета*, 2015, Т. 18, № 19, С. 184–187.
 13. Мерсов, Е. Д. (1981), Исследование фракционного состава древесноволокнистой массы, *Технология древесных плит и пластиков: межвузовский сборник*, 1981, № 7, С. 79–86.
 14. Мерсов, Е. Д. (1989), *Производство древесноволокнистых плит*, М.: Высш. шк., 232 с.
 15. Кузнецова, С. А., Кузнецов, Б. Н. (2011), *Химия древесины*, Красноярск, Сиб. федерал. ун-т, Ин-т цветных металлов и материаловедения, 107 с.
 16. Власов, Ю. В., Григорьев, И. В., Куницкая, О. А., Хитров, Е. Г. (2020), Анализ исследований по тематике измельчения древесных отходов, *RESOURCES TECHNOLOGY*, 2020, № 1, С. 63–88.
 17. Ефимова, Е. В. (2013), *Измельчение древесной коры на оборудовании с молотковыми рабочими органами*, Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.21.01 – технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства, Санкт-Петербург, 2013, СПбЛТУ им. С.М. Кирова, 21 с.
 18. Плотников, С. М. (2007), Определение массы и длины древесных частиц, *Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века*, Екатеринбург, 2007, С. 85–87.
 - Granulirovannaya kompoziciya dlya lit'ya oblegchennykh obuvnykh podoshv* [Granular composition for casting lightweight shoe soles], V.A. Bely Institute of Mechanics of Metal Polymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Vitebsk State Technological University, State Register of Patents of Belarus, Minsk, BY, Req. № a 20180001, zayavl. 03.01.2018, opubl. 30.08.2019, Bjul. № 4 (129).
 10. Radyuk, A. N. (2018), Obtaining and properties of composite polymeric materials with fibrous filler [Poluchenie i svojstva kompozicionnyh polimernykh materialov s voloknistym napolnitelem], *Materialy V Respublik. nauchno-technich. konferencii molodyh uchenykh*, Gomel': IMMS NAN Belarusi, 2018, pp. 27–28.
 11. Goldade, V. A. [i dr.] (2018), *Materialovedenie i tekhnologiya polimerov i kompozitov* [Materials Science and technology of polymers and composites], Grodno, 351 p.
 12. Safin, R. G., Sattarova, Z. G., Galiev, I. M., Saldaev, V.A. (2015), *Kompozicionnye materialy na osnove drevesnyh chastic i polimerov* [Composite materials based on wood particles and polymers], *Vestnik Kazanskogo Gosudarstvennogo universiteta – Vestnik of Kazan State Technological University*, 2015, vol. 18, № 19, pp. 184–187.
 13. Mersov, E. D. (1981), Issledovanie frakcionnogo sostava drevesnovoloknistoj massy, *Technology of wood boards and plastics: Interuniversity collection*, 1981, № 7, pp. 79–86.
 14. Mersov, E. D. (1989), *Proizvodstvo drevesnovoloknistykh plit* [Production of fiberboard], Moscow: Higher School, 232 p.
 15. Kuznetsova, S. A., Kuznetsov, B. N. (2011), *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood], Krasnoyarsk, Siberian Federal. un-t, Institute of Non-ferrous Metals and Materials Science, 107 p.
 16. Vlasov, Yu. V. [i dr.] (2020), *Analiz issledovanij po tematike izmel'cheniya drevesnykh othodov*

19. Буркин, А. Н., Шеремет, Е. А., Егорова, Е. А., Лобацкая, Е. М. (2011), *Материаловедение кожевенно-обувного производства*, Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 310 с.
- [Analysis of research on the topic of wood waste shredding], *RESOURCES TECHNOLOGY*, 2020, № 1, pp. 63–88.
17. Efimova, E. V. (2013), *Izmel'chenie drevesnoj kory na oborudovanii s molotkovymi rabochimi organami* [Crushing of tree bark on equipment with hammer working bodies], Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences in the specialty 05.21.01 – technology and machines of logging and forestry, St. Petersburg, 2013, S.M. Kirov SPbLTU, 2013, 21 p.
18. Plotnikov, S. M. (2007), Determination of the mass and length of wood particles [Opredelenie massy i dliny drevesnyh chastic], *Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century*, Yekaterinburg, 2007, pp. 85–87.
19. Burkin, A. N., Sheremet, E. A., Egorova, E. A., Lobatskaya, E. M. (2011), *Materialovedenie kozhevenno-obuvnogo proizvodstva* [Materials science of leather and shoe production], Minsk: Belarus. Encycl. im. P. Brovki, 310 p.

Статья поступила в редакцию 30. 04. 2023 г.

ЗАВИСИМОСТЬ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЭКОКОЖ ОТ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛИМЕРНОГО ПОКРЫТИЯ

DEPENDENCE OF THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ECO-LEATHER ON THE CONDITIONS FOR THE FORMATION OF A POLYMER COATING

УДК 677.016.67

Ю.И. Марущак*, Н.Н. Ясинская, Н.В. Скобова,
В.Ю. Сергеев

Витебский государственный технологический
университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-102-113>

Yu. Maruschak*, N. Yasinskaya, N. Skobova,
V. Sergeev

Vitebsk State Technological
University

РЕФЕРАТ

ВСПЕНЕННЫЙ ПОЛИУРЕТАН, ПЕНА, КРАТНОСТЬ, ЭКОКОЖА, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, ПОКРЫТИЕ

Ткани с полиуретановым покрытием (экокожа) стали популярным материалом для производства одежды и галантерейных изделий. На ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» авторами разработана и внедрена технология нанесения полиуретанового покрытия на тканую основу. Отличием разработанной технологии производства экокожи от существующих ранее является использование вспененной полиуретановой композиции. Целью работы является установление зависимости физико-механических свойств экокожи от условий формирования полимерного покрытия (кратность пены и длительность сушки).

Для достижения поставленных целей подготовлены опытные образцы тканей с полиуретановым покрытием. Эксперимент проводился по матрице Коно с двумя повторностями каждой серии опытов. С увеличением кратности пены с $\beta = 1,25$ до $\beta = 1,75$ уменьшается объем жидкости в ней, что приводит к уменьшению жесткости готового материала, улучшению его паро- и воздухопроницаемости. Целесообразно использовать высоковязкие полиуретановые композиции ($\beta = 1,75$), так как низковязкие ($\beta = 1,25$) слишком глубоко проникают в структуру тканой основы, придавая материалам с покрытием повышенную жесткость. При длительности сушки 10 минут

ABSTRACT

FOAMED POLYURETHANE, FOAM, MULTIPLICITY, ECO-LEATHER, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES, COATING

Polyurethane-coated fabrics (eco-leather) have become a popular material for the production of clothing and haberdashery. The authors have developed and implemented a technology for applying a polyurethane coating on a woven base at Baranovich Cotton Production Association. The difference between the newly developed technology for the production of eco-leather and the existing ones is the use of a foamed polyurethane composition. The aim of the work is to determine the dependence of the physical and mechanical properties of eco-leather on the conditions for the formation of a polymer coating (foam ratio and drying time).

To achieve these goals, prototypes of polyurethane-coated fabrics were prepared. The experiment was carried out using the Kono matrix with two repetitions of each series of experiments. With an increase in the expansion ratio of the foam from $\beta = 1.25$ to $\beta = 1.75$, the volume of liquid in it decreases, which leads to a decrease in the rigidity of the finished material, thus it improves its vapor and air permeability. It is advisable to use high-viscosity polyurethane compositions ($\beta = 1.75$), since low-viscosity ones ($\beta = 1.25$) penetrate too deeply into the structure of the woven base, while giving the coated materials increased rigidity. With a drying time of 10 minutes and a multiplicity of $\beta = 1.75$, the resistance of the

* E-mail: tonk.00@mail.ru (Yu. Maruschak)

и кратности $\beta = 1,75$ снижается устойчивость полимерного слоя эконоки к истираемости. Полученные зависимости необходимо учитывать в дальнейшем при производстве тканей с полиуретановым покрытием в зависимости от области их применения и требований заказчика.

eco-leather polymer layer to abrasion decreases. The obtained dependences must be taken into account in the future in the production of polyurethane-coated fabrics, depending on the area of their application and customer requirements.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в сфере мирового текстильного производства наблюдается высокий уровень конкуренции, что влечет за собой стремление предприятий к постоянной модернизации и инновациям. Целью предприятий является создание продукции, которая отвечала бы высоким требованиям качества и экологии. Перспективным направлением решения данных задач является использование новых, передовых способов, к числу которых относится технология получения многофункциональных материалов, суть которой заключается в нанесении полимерных композиций с различными свойствами на текстильные полотна (ткань, трикотаж, нетканые материалы) [1].

Сегодня полимерные покрытия широко используются при изготовлении текстильных материалов технического и бытового назначения, а также изделий легкой промышленности, полностью или частично заменяя натуральные. Для композиции используют такие полимеры, как полиуретан (далее – PU), поливинилхлорид, поливинилденхлорид, полиметриметакрилат, этиленвинилацетат, полиолефины, полипропилен, силикон, политетрафторэтилен и другие. В состав композиции могут входить УФ- и термостабилизаторы, наполнители для улучшения механических свойств, антиоксиданты, пигменты и другие вещества, позволяющие придавать конечному продукту дополнительные свойства [2].

Одним из наиболее распространенных полимеров, для формирования функциональных покрытий является полиуретан. Полиуретановые композиции приобрели популярность благодаря своей устойчивости к старению, высокой стойкости к воздействию окружающей среды. Известно, что на основе полиуретановых покрытий возможно получение материала «Эконоки» [3, 4]. Анализ научных работ выявил, что трактовка тер-

мина «Эконоки» различна. Некоторые источники описывают эконоки как полимерное покрытие, нанесенное на натуральный спилот [5], другие – композитное полотно, где в качестве основы используется текстильное полотно, а в качестве матрицы – полимерное покрытие (ПУ, ПВХ, ПВХ) [3]. В целом, этот материал может иметь множество разновидностей, и прежде всего потому, что нет единого общепринятого определения термина эконоки. В рамках данной работы используется понятие эконоки как материала, в котором в качестве полимерного слоя используется вспененная полиуретановая композиция.

Ткани с полиуретановым покрытием стали популярным материалом для производства одежды и галантерейных изделий. На сегодняшний день на ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение» (далее – БПХО) (Беларусь) освоена технология и выпущены опытные партии инновационной продукции – тканей с полиуретановым покрытием (эконоки), имеющих физико-механические свойства близкие к натуральной коже. Материал состоит из двух слоев (рисунок 1), где в качестве основы используется тканое хлопчатобумажное или хлопкополиэфирное полотно, второй слой, лицевой – вспененный полиуретан, создающий микропористую поверхность. Полимерное покрытие предварительно возможно окрасить в любой цвет путем введения пигмента в композицию.

Отличием разработанной авторами технологии производства эконоки от существующих ранее является использование вспененного полиуретана.

Пенная технология позволяет решать ряд важных задач, связанных непосредственно с особенностями текстильного производства, и позволяющая повысить качество продукции, придать ей новые физико-механические свойства, а также получить значительный экономи-

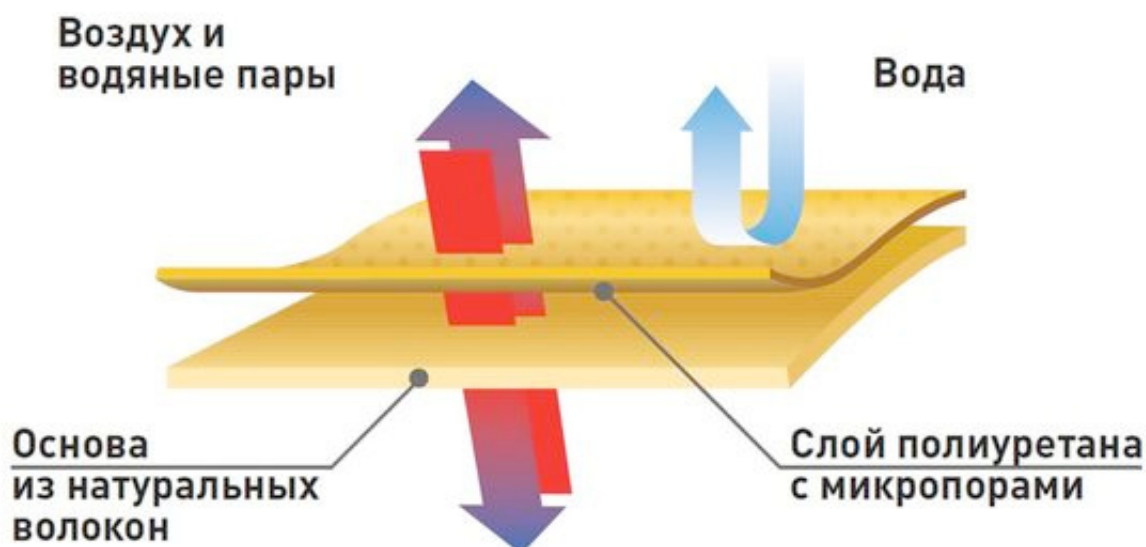


Рисунок 1 – Общий вид экокожи

ческий эффект. К их числу, в частности, можно отнести:

- расширение ассортимента отделочных операций с получением оригинальных колористических эффектов;
- повышение вязкости наносимых растворов;
- снижение нагрузок, действующих на обрабатываемый материал;
- уменьшение миграции отделочных препаратов и другие [6].

При нанесении пен на текстильные материалы одновременно имеют место два процесса: вытекание жидкости из пены под действием силы тяжести и капиллярное всасывание жидкости в межволоконные и межнитевые пространства полотна. При использовании пены для нанесения на ткань полимера поверхностные волокна приобретают повышенную жесткость, в то время как внутренняя структура пряжи остается неизменной. И, кроме того, затрудняется скольжение уточных нитей по отношению к основным, что повышает упругие свойства ткани в целом [6].

Цель работы – установить зависимость физико-механических свойств экокож от условий формирования полимерного покрытия. Для достижения поставленной цели необходимы экс-

периментальные исследования, направленные на установление рациональных режимов получения экокож с заданными физико-механическими свойствами шабрным способом нанесения полимерного покрытия.

Объект и методы исследования

Для проведения исследований в лабораторных условиях кафедры «Экология и химические технологии» Витебского государственного технологического университета подготовлены опытные образцы тканей с полиуретановым покрытием. Исследуемые образцы представляют собой композиты, образованные сочетанием двух слоев.

В качестве основы использовалась хлопкополиэфирная ткань полотняного переплетения, поверхностной плотностью 200 г/м^2 , прошедшая предварительную пропитку влаго-, грязе-, маслоотталкивающей композицией. На ткань наносилось полиуретановое покрытие АО «Пигмент» (РФ, Тамбов). Кратность пены (отношение объема пены к объему раствора, пошедшего на его образование) составляла $\beta_{n1} = 1,25$, $\beta_{n2} = 1,50$, $\beta_{n3} = 1,75$.

Нанесение покрытия осуществлялось шабрным способом на учебном стенде. Схема нанесе-

ния полиуретанового покрытия на тканую основу представлена на рисунке 2.

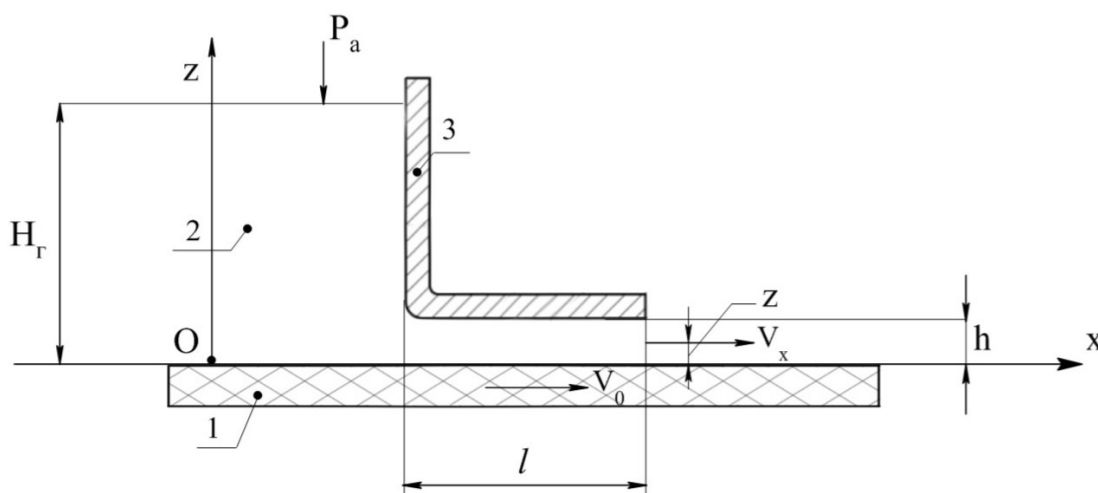
Нанесение покрытий с помощью шаберного способа основано на удалении с поверхности ткани 1 избытка полимерной массы 2 при помощи шабера 3 (ножа). Перед ножевым устройством полимерная масса в избытке наносится на полотно, проходящее через валиковую систему. При использовании шаберных систем осуществляются такие основные процессы, как выравнивание (разравнивание) покрытия, частичное вдавливание покровной массы в капиллярно-пористую структуру ткани, удаление избытка покровной массы с поверхности материала.

При нанесении вязких рабочих растворов связующих (пен) происходит частичная пропитка тканого полотна и в результате лучшее сцепление с материалом основы. Степень пропитки (проникновение пропиточного состава вглубь ткани) изменяется в определенных пределах: от заполнения межнитяных пространств до внедрения внутрь волокон. С увеличением глубины пропитки при прочих равных условиях повышается жесткость готового материала, так как ограничивается подвижность волокнистых структур, возрастает прочность сцепления полимерного

покрытия с основой.

Размер щели между шабером и опорным валом устанавливался 0,7 мм. Толщина готового материала составила 0,9 мм. За счет высокой адгезии к ткани и частичного проникновения в ее структуру полиуретановое покрытие остается прочно связанным с подложкой. Способ сушки – конвективный. Температуру термообработки устанавливали равной 90 °С, время сушки варьировали от 4 до 10 минут соответственно.

Для оценки качества тканей с полиуретановым покрытием и установления зависимостей свойств экокож с полимерным покрытием от кратности пены (β) и продолжительности сушки (t) выбраны наиболее значимые показатели качества из разработанной авторами номенклатуры показателей качества, распространяющейся на ткани с полиуретановым покрытием одежного назначения [7, 8]: воздухопроницаемость, устойчивость лицевого покрытия к истираемости, паропроницаемость, жесткость. Такие показатели, как разрывная нагрузка и удлинение при разрыве не учитывались, так как доказано, что ткань-основа обеспечивает механическую прочность композиционного материала и поддерживает нанесенный на нее слой покрытия.



H_r – гидростатический напор полимерного связующего (м), P_a – атмосферное давление (Па),
 V_0 – скорость движения ткани (м/с), h – толщина наносимого слоя (м)

Рисунок 2 – Схема процесса нанесения полиуретанового покрытия

Гигиенический показатель «Воздухопроницаемость» полученного материала имеет диапазон изменения близкий к плотным текстильным материалам (плащевые и курточные ткани) при определении по методике по ГОСТу 12088-77 «Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости». Для исследования воздухопроницаемости руководствовались данным ГОСТом. Сущность метода заключается в измерении объема воздуха, проходящего через заданную площадь испытуемого материала за единицу времени при определенном разрежении под точечной пробой.

Анализ литературных источников показал, что большая доля механического износа приходится на истирание, меньшая – на многократные деформации растяжения и изгиба [3–5]. Истирание происходит вследствие внешнего трения текстильного материала о другие поверхности, которое сопровождается постепенным осыпанием полимерного покрытия, и, как следствие, потерей массы, уменьшением толщины, наконец, разрушением материала. Устойчивость к истиранию проверяли на приборе ДИТ-М, имеющий две головки и сменные пяльцы. В качестве абразива использовали серошинельное сукно диаметром 25 мм. Испытание проводили при удельном давлении абразива на ткань, равном 1 МПа (1 кгс/см²). Испытывали ткани с покрытием при скорости вращения головки прибора 100 об/мин. При разрушении элементарных проб прибор автоматически выключался. После автоматической остановки записывали число циклов вращения головки прибора, при котором произошло разрушение испытуемой пробы.

Для исследования паропроницаемости материалов был выбран гравиметрический метод, реализованный с помощью испытательного комплекта Sampler 2000, прилагающегося к анализатору влажности Radwag M-50 [9, 10]. Устройство основано на прецизионных весах с дискретностью 1 мг и сушильной камере с датчиком температуры, электроникой преобразования сигнала и цифровым дисплеем. Метод является разновидностью метода Тейлора и основан на измерении убыли влаги при испарении из емкости, герметично закрытой исследуемым материалом. Температура в камере прибора контролируется в течение всего опыта

и составляет 40 °С. Время испытания – 1 час. Методика проведения испытания предусматривает предварительное кондиционирование и вырезание образцов круглой формы площадью S . Коэффициент паропроницаемости определяется расчетным методом как отношение массы водяных паров, прошедших через пробу материала к площади образца материала и времени испытания (традиционный метод «Стаканчики»).

Жесткость тканей с покрытием определяли на приборе ПЖУ-12М, погрешность нагружения которого составляет не более 1 %. При проведении измерений руководствовались ГОСТом 8977-74, который распространяется на искусственные и синтетические кожи.

Точечные пробы отбирались в соответствии с ГОСТом 20566 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб».

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Эксперимент проводился по матрице Коно с двумя повторностями в каждой серии опытов. Для определения количества опытов проводили пробную серию дублирующих опытов, производили статистическую обработку результатов эксперимента и по формуле (1) определяли минимально необходимое количество повторов [11]:

$$n_{\min} \geq \left(\frac{\sigma \cdot t}{a \cdot k_T} \right)^2, \quad (1)$$

где $\bar{a}$ – среднее значение; σ – среднее квадратическое отклонение измерений; k_T – требуемая точность измерений в относительных единицах, %; t – критерий Стьюдента, табличное значение.

В качестве входных факторов выбраны продолжительность сушки (t) и кратность пены (β). Выходные параметры: воздухопроницаемость, устойчивость лицевого покрытия к истиранию, паропроницаемость, жесткость. Интервалы и уровни варьирования входных факторов представлены в таблице 1.

В таблице 2 представлен план и результаты эксперимента.

В результате обработки экспериментальных данных в программе Statistica for Windows получены теоретико-экспериментальные зависи-

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования
Продолжительность сушки t , (мин), X_1	4	7	10	3
Кратность пены, β , X_2	1,25	1,5	1,75	0,25

Таблица 2 – План и результаты эксперимента

Кодированные значения		Воздухопроницаемость, $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$	Устойчивость к истиранию, количество циклов	Жесткость по основе, сН	Жесткость по утку, сН	Паропроницаемость, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$
X_1	X_2					
1	1	21,6	257	9,7	8,8	11,5
-1	1	14,6	448	15,2	11,4	6,6
1	-1	15,7	288	10,6	7	10,0
-1	-1	13,6	648	18,5	15	5,70
1	0	19	278	10	7,6	11,1
-1	0	13,9	580	17,1	13,4	5,6
0	1	19,6	283	12,8	9,7	9,78
0	-1	16,2	387	15,8	14,1	7,74
0	0	17,3	319	14	12	8,4

мости эксплуатационных свойств тканей с полиуретановым покрытием от технологических режимов их получения. Достоверность моделей подтверждается высоким значением коэффициента детерминации.

Модель зависимости воздухопроницаемости от кратности пены и продолжительности сушки

$$B = 17,7 + 2,36 \cdot \beta + 1,72 \cdot t + 1,22 \cdot \beta \cdot t - 1,3 \cdot \beta^2 \quad (R^2=0,9971) . \quad (2)$$

Модель зависимости устойчивости к истиранию от кратности пены и продолжительности сушки

$$I_s = 330 - 142 \cdot \beta - 55,8 \cdot t + 42,2 \cdot \beta \cdot t + 86,8 \cdot \beta^2 \quad (R^2=0,9971) . \quad (3)$$

Модель зависимости жесткости от кратности пены и продолжительности сушки:

– по основе

$$G_o = 14,2 - 3,42 \cdot \beta - 1,2 \cdot t + 0,6 \cdot \beta \cdot t - 0,68 \cdot \beta^2 \quad (R^2=0,99762) ; \quad (4)$$

– по утку

$$G_y = 11,93 - 2,73 \cdot \beta - 2,2 \cdot t + 1,35 \cdot \beta \cdot t - 1,4 \cdot \beta^2 + 0,95 \cdot \beta^2 \cdot t \quad (R^2=0,9991) . \quad (5)$$

Модель зависимости коэффициента паропроницаемости от кратности пены и продолжительности сушки

$$P = 8,49 + 2,45 \cdot \beta + 0,74 \cdot t \quad (R^2=0,9802) . \quad (6)$$

По полученным моделям построены графические образы зависимости свойств материала с покрытием от технологических режимов их получения, позволяющие выявить области рациональных решений при выборе эксплуатационных свойств в соответствии с требованиями заказчика (рисунки 3–6).

Экспериментальные данные по воздухопроницаемости и устойчивости к истиранию, аппроксимируются моделями второго порядка, характеризующими минимальные и максимальные значения параметров в исследованном диапазоне влажного привеса. Показатель «Жесткость по утку» имеет сложный характер взаимосвязи со свойствами пены и длительности сушки – неполные модели третьего порядка, однако

очевидно, что с увеличением кратности пены жесткость материала снижается одновременно в двух направлениях (по основе и утку). Данные коэффициента паропроницаемости описываются линейной зависимостью от анализируемых факторов.

Для получения образцов с высоким показателем воздухопроницаемости ($21 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) кратность пены должна составлять 1,75, а время сушки – 10 минут. Выбор значений технологических параметров на верхней границе варьирования позволит также повысить коэффициент паропроницаемости до $12 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ и снизить жесткость материала по основе и утку до 8 сН . Однако при этом снижается стойкость к истиранию до 300 циклов.

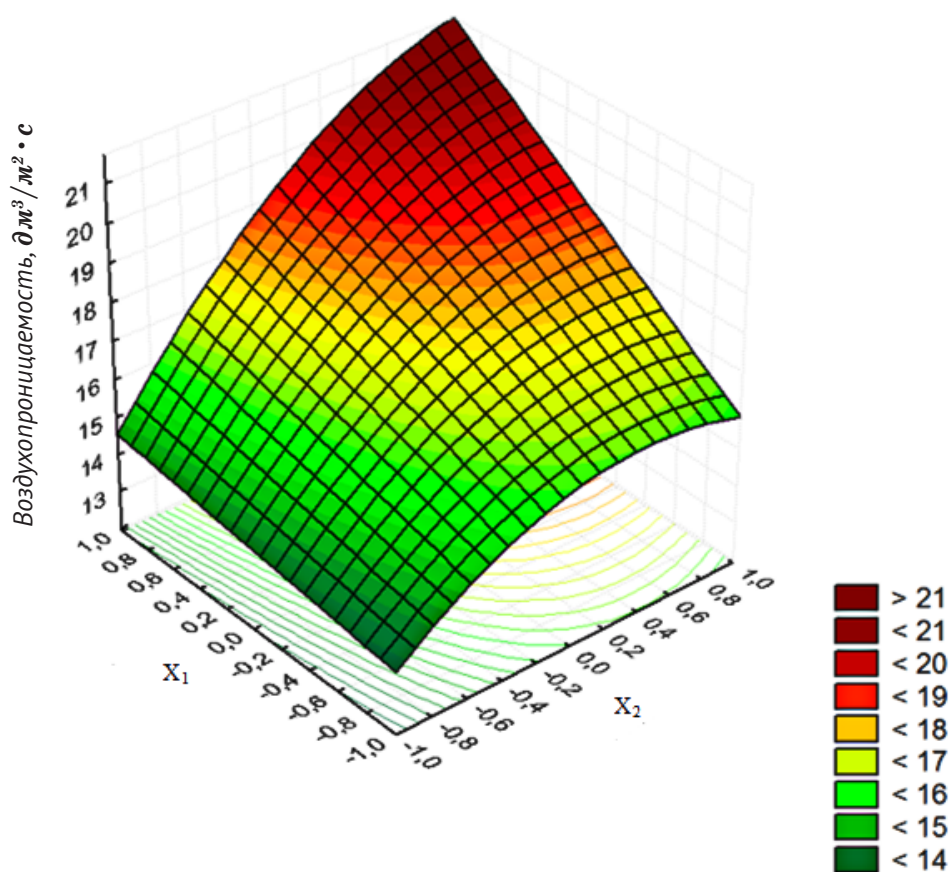


Рисунок 3 – Графическая зависимость воздухопроницаемости ($\text{дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$) от кратности пены и продолжительности сушки

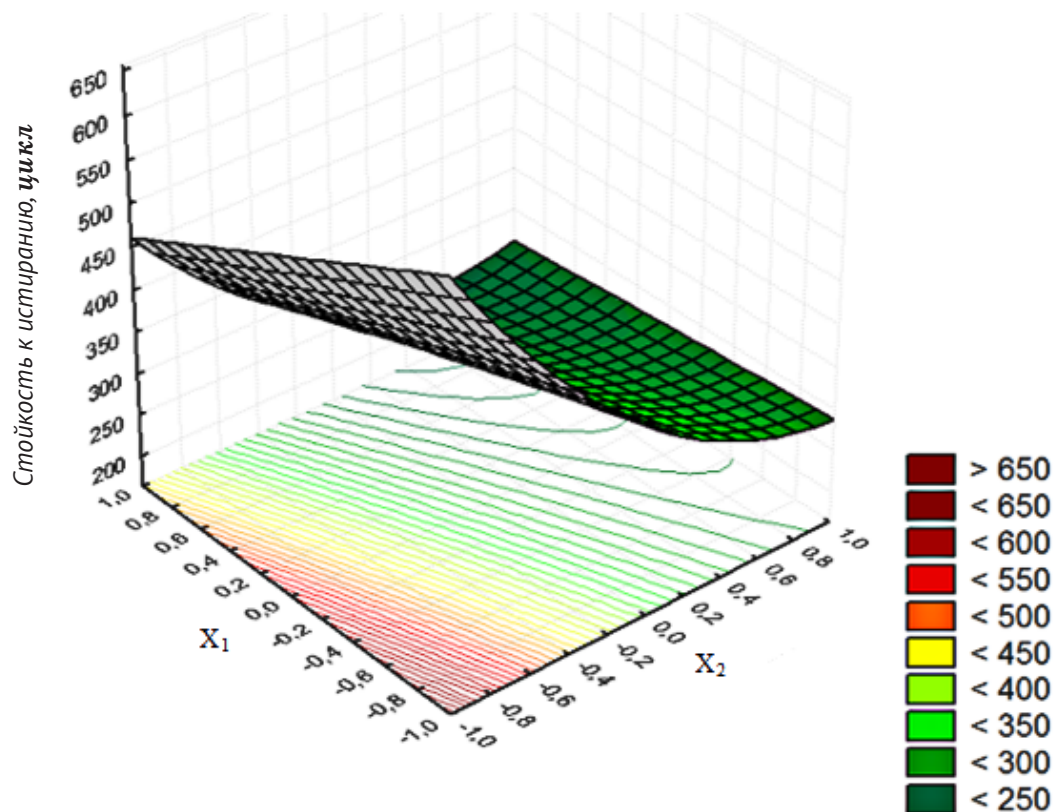


Рисунок 4 – Графическая зависимость устойчивости к истиранию (цикл) от кратности пены и продолжительности сушки

Анализ полученных данных показал, что с увеличением кратности пены и длительности сушки, показатели основных физико-механических и гигиенических свойств экокожи изменяются. Длительный процесс сушки ухудшает физико-механические свойства материала. С увеличением кратности пены уменьшается объем жидкости в ней, что приводит к уменьшению жесткости материала, улучшению его паро- и воздухопроницаемости. Целесообразно использовать высоковязкие полиуретановые композиции ($\beta = 1,75$), так как низковязкие ($\beta = 1,25$) слишком глубоко проникают в структуру тканевой основы, придавая тканям с покрытием повышенную жесткость. Увеличение воздухо- и паропроницаемости обусловлено снижением плотности материала, поскольку это взаимосвя-

зисимые характеристики. Сопротивление истиранию тканей с полиуретановым покрытием во многом зависит от толщины покрытия, его химической природы. Так, например, кожи с плотностью наложения $0,1 \text{ кг/м}^2$ имеют высокое сопротивление истиранию, а кожи с меньшей плотностью наложения ($0,05\text{--}0,06 \text{ кг/м}^2$) обладают значительно меньшим сопротивлением истиранию. Повышение кратности вспененной полиуретановой композиции до $\beta = 1,75$ приводит к увеличению толщины полимерного покрытия вследствие меньшей глубины проникновения жидкости в текстильный материал, а также к повышению дисперсности, вследствие чего истираемость готового материала снижается, а воздухо- и паропроницаемость увеличиваются.

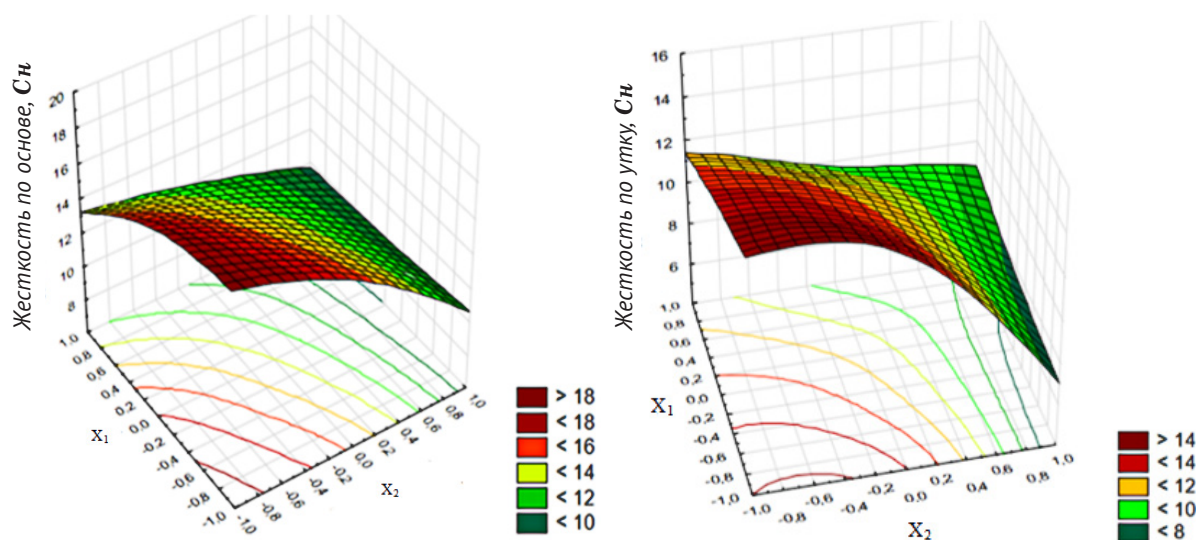


Рисунок 5 – Графическая зависимость жесткости по основе и по утку (сН) от кратности пены и продолжительности сушки

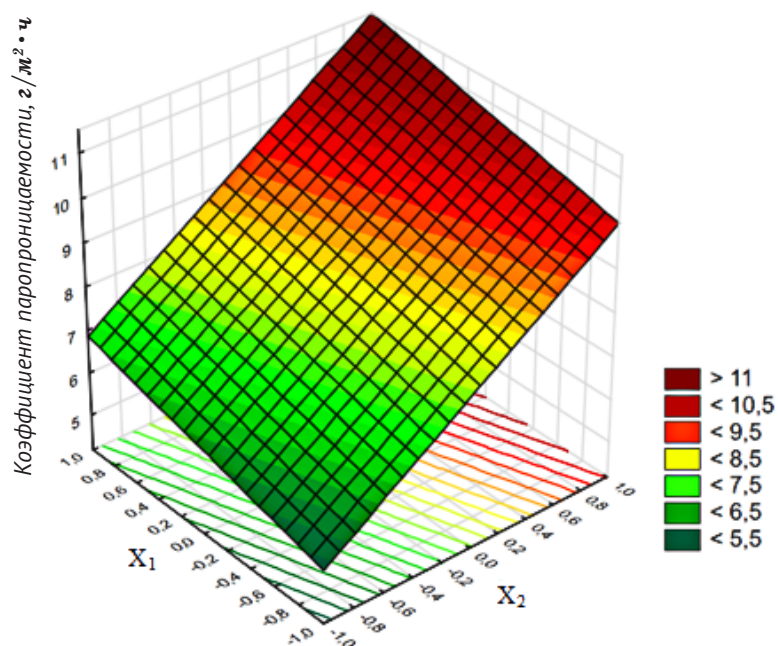


Рисунок 6 – Графическая зависимость коэффициента паропроницаемости ($z/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$) от кратности пены и продолжительности сушки

Данные зависимости необходимо учитывать в дальнейшем при производстве тканей с полиуретановым покрытием (экокож) в зависимости от области их применения и требований заказчика.

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований установлены теоретико-экспериментальные зависимости физико-механических свойств тканей с полиуретановым покрытием (экокожа) от условий формирования полимерного покрытия. С увеличением кратности пены с $\beta = 1,25$ до

$\beta = 1,75$ происходит снижение жесткости материала, улучшению его паро- и воздухопроницаемости. При длительности сушки 10 минут и кратности $\beta = 1,75$ снижается устойчивость полимерного слоя экокожи к истираемости. Установленные зависимости позволяют выбрать рациональное соотношение между кратностью наносимой пены и продолжительностью сушки нанесенного на тканую основу вспененного покрытия, в зависимости от требований к свойствам готового материала и его назначение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2022), Исследование влияния температуры сушки на качество «экокожи», *Материалы Международной научно-практической конференции Лёгкая промышленность: проблемы и перспективы*, Омск, 2022, С. 52–57.
2. Ясинская, Н. Н., Ольшанский, В. И., Коган, А. Г. (2015), *Композиционные текстильные материалы*, Витебск, 2015, с. 298.
3. Бекашева, А. С. (2015), Характеристики и свойства экокожи – материала, имитирующего натуральную кожу, *Вестник Казанского технологического университета*, 2015, № 16, С. 134–136.
4. Вишневская, О. В. (2016), Современные методы нанесения покрытия на текстиль, *Вестник Казанского технологического университета*, 2016, № 18, С. 69–72.
5. Бекашева, А. С. (2015), Высокие технологии при создании экокож, *Вестник Казанского технологического университета*, 2015, № 19, С. 172–176.
6. Павутницкий, В. В. (2004), *Развитие теории и практики получения и применения низкократных пен в технологических процессах тек-*

REFERENCES

1. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2022), Study of the effect of drying temperature on the quality of "eco-leather" [Issledovanie vliyaniya temperatury sushki na kachestvo «ekokozhi»], *Materials of the International Scientific and Practical Conference Light Industry: Problems and Prospects*, Omsk, 2022, pp. 52–57.
2. Yasinskaya, N. N., Olshansky, V. I., Kogan, A. G. (2015), *Composite textile materials* [Kompozicionnye tekstil'nye materialy], Vitebsk, 2015, p. 298.
3. Bekasheva, A. S. (2015), Characteristics and properties of eco-leather – a material that imitates natural leather [Harakteristiki i svoystva ekokozhi – materiala, imitiruyushchego natural'nuyu kozhu], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Kazan Technological University*, 2015, № 16, pp. 134–136.
4. Vishnevskaya, O. V. (2016), Modern methods of coating textiles [Sovremennyye metody naneseniya pokrytiya na tekstil'], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Kazan Technological University*, 2016, № 18, pp. 69–72.

- стильного производства, автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Санкт-Петербург, 2004, 44 с.
7. ТУ ВУ 200166488.205-2023. *Ткани одежные с полиуретановым покрытием*. Введ. 2023-02-21, ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение», 2023, 12 с.
 8. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Петюль, И. А. (2023), Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств экокож, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2023, № 2 (404).
 9. Панкевич, Д. К., Лобацкая, Е. М. (2015), Исследование паропроницаемости водозащитных композиционных слоистых материалов, *Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности*, Витебск, 2015, С. 79–81.
 10. Дрозд, М. И., Марцинкевич, Т. Ф., Михалко, М. Н. (2012), Оценка паропроницаемости трикотажных бельевых полотен, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2012, № 23 (2), С. 34.
 11. Бойко, А. Ф., Кудеников, Е. Ю. (2016), Точный метод расчета необходимого количества повторных опытов, *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*, 2016, № 8, С. 128–132.
 5. Bekasheva, A. S. (2015), High technologies in the creation of eco-leather [Vysokie tekhnologii pri sozdanii ekokozh], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Kazan Technological University*, 2015, № 19, pp. 172–176.
 6. Pavutnitsky, V. V. (2004), *Development of the theory and practice of obtaining and using low-expansion foams in the technological processes of textile production* [Razvitie teorii i praktiki polucheniya i primeneniya nizkokratnyh pen v tekhnologicheskikh processah tekstil'nogo proizvodstva], abstract of the thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, St. Petersburg, 2004, p. 44.
 7. TU BY 200166488.205-2023. *Fabrics for clothes with polyurethane coating*. Vved. 2023-02-21, Baranovich Cotton Production Association OJSC, 2023, 12 p.
 8. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Petyul, I. A. (2023), Development of a nomenclature of quality indicators and evaluation of the properties of eco-leather [Razrabotka nomenklatury pokazatelej kachestva i ocenka svojstv ekokozh], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2023, № 2 (404).
 9. Pankevich, D. K., Lobatskaya, E. M. (2015), Research on the vapor permeability of waterproof composite layered materials [Issledovanie paropronicaemosti vodozashchitnyh kompozicionnyh sloistyh materialov], *New in engineering and technology in the textile and light industry*, Vitebsk, 2015, pp. 79–81.
 10. Drozd, M. I., Martsinkevich, T. F., Mikhalko, M. N. (2012), Evaluation of the vapor permeability of knitted underwear [Ocenka paropronicaemosti trikotazhnyh bel'evykh poloten], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2012, № 23 (2), P. 34.

11. Boyko, A. F., Kudenikov, E. Yu. (2016), The exact method for calculating the required number of repeated experiments [Tochnyj metod rascheta neobhodimogo kolichestva povtornykh opytov], *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova – Vestnik of the Belgorod State Technological University V.G. Shukhov*, 2016, № 8, pp. 128–132.

Статья поступила в редакцию 05. 05. 2023 г.

СХЕМА КОМБИНИРОВАННОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЕКСТИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ AOPS-ТЕХНОЛОГИЙ

SCHEME COMBINED WASTEWATER TREATMENT OF THE TEXTILE PRODUCTIONS USING AOPS-TECHNOLOGIES

УДК 675.04:677.027:677.057

В.Н. Штепа^{1*}, В.И. Дунай¹, С.Ю. Киреев²,
А.Б. Шикунец¹, А.В. Козыр¹

¹Полесский государственный университет²Пензенский государственный университет<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-114-124>

V. Shtepa^{1*}, V. Dunai¹, S. Kireev²,
A. Shikunets¹, A. Kozyr¹

¹Polesky State University²Penza State University

РЕФЕРАТ

КОМБИНИРОВАННАЯ ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД, ТЕКСТИЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО, ОКИСЛЕНИЕ ЗАГРЯЗИТЕЛЕЙ, ЭЛЕКТРОЛИЗНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Объект исследований – экологическая безопасность текстильных производств. Цель работы – обоснование схем комбинированной очистки многокомпонентных сточных вод (СВ) текстильных производств, отводимых в коммунальные канализационные сети, с учётом нормативных требований предельно допустимых концентраций (ПДК) загрязнителей в водных растворах и минимизации финансовых затрат на создание локальных очистных сооружений (ЛОС). Разработана методика и пилотная установка для проведения экспериментальных исследований обработки общезаводских и отделочного цеха сточных вод с использованием коагулирования FeCl_3 , озонирования (производительность по озону 10 г/час), ферратного воздействия на основе использования электрохимического реактора; при интенсификации процессов ультрафиолетовым облучением (длина волны 254 нм) и ультразвуковым воздействием (частота 30 кГц). Анализ полученных результатов показал, что во всех обработанных пробах СВ, кроме отходов агрегата «Оптим», удаётся эффективно снизить pH до ПДК внесением кислотосодержащего коагулянта FeCl_3 . При этом необходимого качества окисления органических загрязнителей сточных вод текстильного производства уда-

ABSTRACT

COMBINED WASTEWATER TREATMENT, TEXTILE INDUSTRY, POLLUTANT OXIDATION, ELECTROLYSIS PROCESSES, ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

The object of the research is the environmental safety of textile industries. The purpose of the work is to substantiate schemes for the combined treatment of multicomponent wastewater from textile industries discharged into public sewer networks, taking into account the regulatory requirements for maximum permissible concentrations of pollutants in aqueous solutions and minimizing financial costs for the creation of local treatment facilities (LTF). On the basis of the audit of real production, it was found that the indicators of wastewater changed non-stationary and non-linearly in terms of time depending on the range products: in terms of volume; on the quality of wastewater. Methodology and the pilot plant have been developed for conducting research on the treatment general plant and wastewater treatment using FeCl_3 coagulation, ozonation, ferrate exposure based on the use of electrochemical reactor; during intensification processes by ultraviolet irradiation and ultrasonic exposure. Analysis of the experimental results showed that in all treated wastewater samples, except for the wastes of the Optima unit, it is possible to effectively reduce pH by introducing acid-containing FeCl_3 coagulant. However, the required quality of oxidation organic pollutants in textile production wastewater was achieved only with the use of electrolysis plant by synthesizing ferrate compounds (reduction chem-

* E-mail: shtepa.v@polessu.by (V. Shtepa)

лось достигнуть только с использованием электролизной установки (снижение значения химического потребления кислорода (ХПК) почти в 7 раз), которая обеспечивает синтез ферратных соединений.

Полученные результаты позволили впервые обосновать схему комбинированной очистки СВ текстильных производств с использованием AOPs-технологий и минимизацией использования классических химических реагентов при уменьшении общих затрат на локальные очистные сооружения. Акцентировано, что перспективным является создание системы сбора информации об водоотведении, использование которой позволит в адаптивном режиме формировать техническое задание на создание (модернизацию, реконструкцию) ЛОС с дальнейшей её интеграцией в блок управления.

ical oxygen demand by almost 7 times). The results made it possible for the first time to substantiate the scheme for the combined treatment of wastewater from textile industries using AOPs technologies and minimizing the use of chemical reagents while reducing the total cost of LTF. It is emphasized that it is promising to create system for collecting information on wastewater disposal.

ВВЕДЕНИЕ

Объем образующихся сточных вод (СВ) текстильных производств зависит от целого ряда технологических показателей: исходного сырья, применяемых технологий отделки, повторного и оборотного водоснабжения. Так, при производстве акриловых тканей образуется порядка 35 м³ загрязнённых водных растворов на 1 тонну тканей, шерстяных тканей – 70 м³ на 1 тонну тканей, хлопковых – 100 м³ на 1 тонну тканей [1]. Технологические процессы на предприятиях текстильной промышленности весьма разнообразны, в связи с чем концентрации примесей, содержащиеся в производственных СВ, и их качественный состав могут изменяться в широких пределах, в том числе, на основе вероятностных законов [1, 2]. Сточные воды текстильных производств содержат остатки волокон, грязевые частицы, реагенты, поверхностно-активные вещества (ПАВ), красители [1–3].

При этом по объёму потребления технологической воды и отведении сточных вод одно из ведущих мест на текстильных предприятиях занимают красильные и отделочные цеха. Удельный расход водопотребления и, соответственно, расход СВ в них составляет примерно от 70–400 м³ на тонну продукции [2, 4]. Также установлено, что в сточных водах красильно-

отделочных цехов присутствуют более 50 видов органических и минеральных экологически опасных соединений [3].

В основе комплексной технологии производства текстиля лежат многочисленные физикохимические явления и химические превращения. Из общего числа поллютантов, которые попадают в окружающую среду со СВ, значительная доля приходится на химико-текстильные процессы [3]. Основные экологические проблемы в отделочном производстве связаны с необходимостью их эффективной очистки. Также отведение в канализацию жидких отходов красильно-отделочных производств достигает значительных размеров. Загустители, глауберова соль, крахмал, поверхностно-активные вещества могут поступать в СВ в количестве до 90 % от исходного содержания в отделочном растворе, гидроксид натрия – до 50 %, бихромат калия – до 25 %, сернистые красители – до 30 %, дисперсные и катионные красители – до 40 %, прямые и активные красители – 10–25 %, кислотные, кубовые красители и кубозоли – 5–10 % при периодическом крашении [5].

В случае текстильных производств целесообразно рассматривать удаление примесей физико-химическими методами [1]. Отдельной проблемой, связанной с отведением сточных

вод предприятий текстильного производства, является их токсичность и цветность. В настоящее время на мировом рынке представлено более 100 тысяч видов синтетических красителей при общем производстве порядка 700 000 тонн, значительная часть которых используется и в текстильном производстве [5]. Многие из красителей не подвержены биологической деструкции, и для снижения цветности сточных вод может также потребоваться применение методов физико-химической очистки [6, 7]. Их можно разделить на две группы [1]: первая группа включает технологии, которые предусматривают выделение находящихся в сточных водах красителей путем удаления их в виде осадка, флотошлама, поглощения сорбентами, задержания при мембранном разделении; вторая группа методов обработки основана на разрушении (деструкции) молекул красителей. Деструкция красителей осуществляется за счет реакций окисления и восстановления, которые могут производиться как дозированием реагентов, так и электрохимическими способами.

Целесообразно при очистке сточных вод текстильных производств применить так называемые передовые процессы окисления (Advanced Oxidation Process (AOPs) [1, 8–10]. Указанная выше группа методов окисления основана на получении гидроксильных свободных радикалов ($\text{HO}\cdot$), которые являются сильными реагентами и способны к деструкции красителей, которые не могут быть разрушены традиционными подходами. Гидроксильные свободные радикалы получают сочетанием применения различных окислителей: «озон + пероксид водорода»; «озон + ультрафиолетовое излучение»; «пероксид водорода + ультрафиолетовое излучение»; «озон + ультразвук». Или других передовых подходов деструкции поллютантов в водных растворах, например, с внедрением процессов синтеза ферратов и/или Фэнтон-реакций.

Следует отметить, что в Республике Беларусь сточные воды текстильных предприятий, как правило, отводятся в системы канализации населенных пунктов и доочищаются совместно с коммунальными СВ. При этом непосредственно на ЛОС таких объектов целесообразно использовать сочетание различных способов физико-химической об-

работки: коагуляцию, флокуляцию, окисление, сорбцию, разделения на мембранах, которые позволяют удалять примеси, не поддающиеся биохимическому разложению. Таким образом, минимизация рисков для коммунальных очистных сооружений при учёте финансовых возможностей предприятий является актуальной научно-прикладной задачей.

Цель и задачи

Цель работы – обоснование схем комбинированной очистки многокомпонентных сточных вод текстильных производств, отводимых в коммунальные канализационные сети, с учётом нормативных требований предельно допустимых концентраций загрязнителей в водных растворах и минимизации финансовых затрат на создание локальных очистных сооружений.

Задачи исследований:

- создание методики экспериментальных исследований комбинированной очистки сточных вод текстильных производств на основе анализа результатов аудита водоотведения соответствующих производств;
- разработка пилотной электролизной установки обработки СВ с использованием AOPs-технологий;
- обоснование схемы комбинированной очистки сточных вод текстильного производства с использованием AOPs-технологий на основе анализе экспериментальной обработки водных растворов, отводимых исследуемыми производствами в коммунальную канализационную сеть.

Методика проведенных исследований

В качестве рабочих растворов для исследований использованы реальные сточные воды текстильного производства Брестской области. Показатели СВ такого предприятия нестационарно и нелинейно изменяются в зависимости от ассортимента производимой продукции:

- по объёму (с амплитудой на протяжении недели порядка 30 %, в отдельные периоды может быть и до 40 %);
- по качеству сточных вод (касательно значения pH и общей минерализации такие колебания могут составлять более 50 % на протяжении недели).

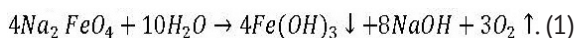
Ключевым загрязнителем сточных вод является линия отведения водных растворов от техно-

логических агрегатов «Оптима» и «Комплекса» (отделочный цех) – раствор с данной ветки выполняет защелачивание выше ПДК всего объема отведения производства, при расходе через такую ветку 1:10 по отношению с общезаводскими СВ. Именно поэтому для дальнейших исследований экспериментальной обработки использовали воду с вышеуказанных технологических узлов и обзаводские СВ.

При экспериментальных исследованиях использовали следующие методы водообработки:

- коагуляцию $FeCl_3$ (раствор 40 %);
- ультразвуковую (УЗ) интенсификацию процесса коагулирования (частота 30 кГц);
- комбинацию озонирования (производительность по озону 10 г/час) и ультрафиолетового излучения (длина волны 254 нм);
- окисление с помощью ферратных процессов (с использованием электролизной установки) (рисунок 1) [11].

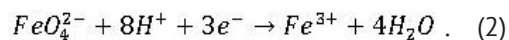
Прикатодные и прианодные области электролита в электролизере (рисунок 1) разделены неселективной мембраной, что позволяет предотвратить восстановление на катоде образовавшегося феррата натрия. Феррат натрия является нестабильным соединением, в присутствии воды он со временем разлагается с выделением кислорода [7]:



Период полураспада раствора феррата натрия в 40 % щелочи ($NaOH$) составляет 7 суток. Будучи сильным окислителем, феррат натрия легко окисляет комплексные соединения тяжелых металлов, что должно способствовать повышению эффективности процесса реагентной очистки сточных вод. Продуктом ферратной обработки является гидроксид железа (III), выступающий в роли коагулянта – таким образом, имеет место синергетический эффект водообработки. Такое воздействие позволит увеличить гидравлическую крупность образующегося осадка и существенно интенсифицировать работу сооружений, предназначенных для осветления сточных вод.

Окислительно-восстановительный потенциал феррат-ионов зависит от pH среды. В кислой

среде уровень окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов достигает крайне высокой величины +2,2 В:



В нейтральной и щелочной среде значение окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов +0,72 В:

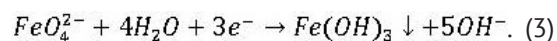


Рисунок 1 – Внешний вид электролизной установки с комбинацией ультразвуковой обработки сточных вод

В процессе взаимодействия с водой одна молекула феррата натрия образует 5 ионов, что обуславливает повышенный уровень щелочности обработанных сточных вод, вследствие чего можно ожидать существенного сокращения расхода щелочных реагентов на локальных очистных сооружениях.

Структурная схема экспериментальной системы представлена на рисунке 2.

Режимы экспериментальной обработки СВ:

- вариант № 1: коагуляция $FeCl_3$ (3,5 мл/л) сточной воды линии «Комплекса» (pH – 11,16 *ед. pH*; общая минерализация – 3736,6 мг/л);
- вариант № 2: коагуляция $FeCl_3$ (5 мл/дм³) общезаводской сточной воды (pH – 11,84 *ед. pH*; минерализация – 816,3 мг/л);
- вариант № 3: обработка полученного раствора варианта № 1 озоном на протяжении 20 минут;
- вариант № 4: одновременная (комплексная) обработка полученного раствора варианта № 1 озоном и ультрафиолетовым облучением на протяжении 20 минут;
- вариант № 5: обработка полученного раствора варианта № 1 ультразвуковым воздействием на протяжении 5 минут;

– вариант № 6: обработка полученного раствора варианта № 2 в электролизной установке;

– вариант № 7: обработка полученного раствора варианта № 6 в электролизной установке;

– вариант № 8: обработка полученного раствора варианта № 7 в электролизной установке.

Оценивали следующие показатели качества водных растворов после обработок: активная реакция раствора (*ед. pH*); общая минерализация, *ppm*; химическое потребление кислорода (ХПК), мг O_2 /л – такой показатель взят, как интегральный демонстрирующий наличие (отсутствие) органических загрязнителей сточных вод.

Показатели качества сточных вод определялись в аккредитованной лаборатории КПУП «Пинскводоканал».

Анализ полученных результатов

Зафиксированные результаты лабораторной обработки реальных СВ согласно вариантам, описанным в методике экспериментальных исследований, представлены на рисунках 3–5.

Для предварительной оценки эффективности нейтрализации (подкисления раствора)

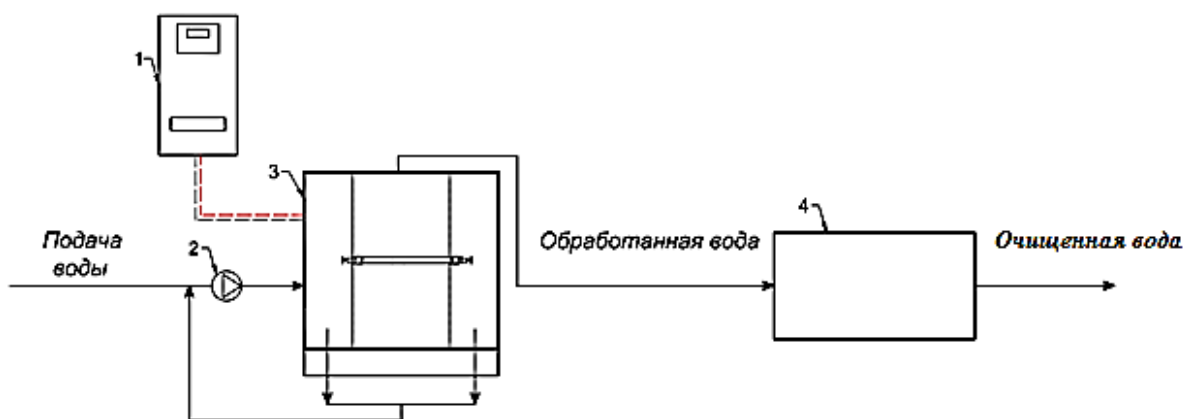


Рисунок 2 – Структурная схема системы для экспериментальных исследований очистки сточных вод текстильных производств с использованием AOPs-технологий: 1 – источник постоянного тока; 2 – электронасосный агрегат; 3 – электролизная установка с УЗ-интенсификацией; 4 – блок разделения полученных после деструкции взвешенных частиц (фильтр, отстойник) с возможностью подачи озона и подключения УФ-ламп

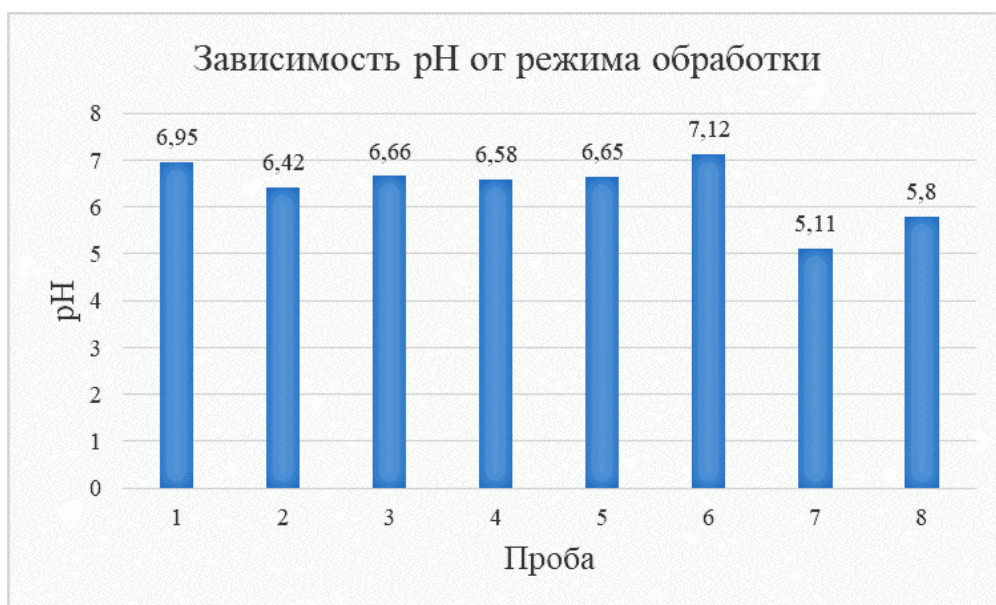


Рисунок 3 – Графические зависимости значения показателя качества сточных вод текстильного производства «рН» от режимов обработки (ПДК = 6,5–9,0): 1–8 – варианты воздействия на СВ, описанные в методике экспериментальных исследований



Рисунок 4 – Графические зависимости значения показателя качества сточных вод текстильного производства «Минерализация» (ПДК = 1000 ppm) от режимов обработки: 1–8 – варианты воздействия на СВ, описанные в методике экспериментальных исследований



Рисунок 5 – Графические зависимости значения показателя качества сточных вод текстильного производства «ХПК» (ПДК = 1200 мгО₂/л) от режимов обработки: 1–8 – варианты воздействия на СВ, описанные в методике экспериментальных исследований

выполнили обработку сточной воды агрегата «Оптим» (pH – 12,43 ед. pH ; минерализация – 1450,9 ppm) соляной кислотой HCl (15 %) – необходимый результат (pH = 8,8) был достигнут при внесении её в значительных концентрациях 12 мл/л.

Анализ результатов экспериментальных исследований комбинированной очистки сточных вод текстильного производства:

- общезаводские и агрегата «Комплекса» сточные воды поддаются качественной нейтрализации (подкислению) на основе использования только «кислого» коагулянта – хлорида железа $FeCl_3$;

- сточные воды технологического агрегата «Оптим» сложно поддаются нейтрализации (подкислению) в силу высокой концентрации каустика, который применяется в производственном процессе;

- минерализация общезаводских сточных вод при использовании реагентных способов будет значительной и периодически превышать предельно-допустимые концентрации;

- применённые процессы (в режимах приближённых к тем, которые можно минимально затратно реализовать на производстве), а именно: «коагуляция», «коагуляция + ультразвук», «озонирования», «озонирование + ультрафиолет», не значительно воздействуют на органические загрязнители сточных вод, которые имеют сложно окисляемую природу;

- процесс «Ферратное окисление» потенциально обеспечит ПДК по показателям содержания органических загрязнителей сточных вод.

Таким образом, можно предложить схему очистки сточных вод текстильного производства с комбинацией разных подходов (рисунок 6), которая будет обеспечивать раздельную нейтрализацию СВ отделочного цеха.

Обоснованная структура комплексной обработки СВ (рисунок 6) дополнительно включает ёмкость регулирования водоотведения, технологическая задача которой сглаживать пиковые амплитудные колебания показателя качества «Минерализация». При этом задача комбинированной системы удаления поллютантов обеспечивать ПДК, которые определяются с исполь-

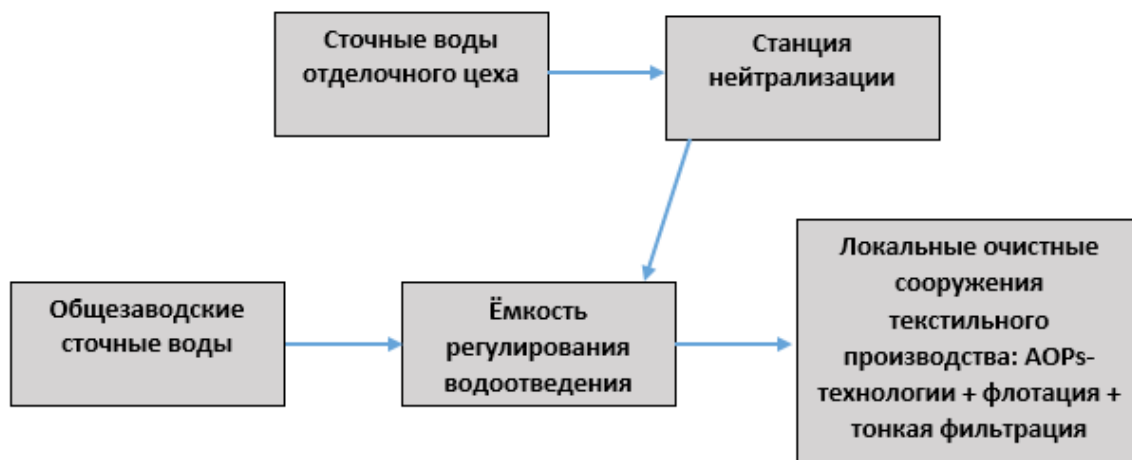


Рисунок 6 – Схема комбинированной очистки сточных вод текстильного производства с использованием AOPs-технологий

зованием отечественных методик на основе действующей нормативной базы [12].

Заключение

На выходе системы водоотведения текстильного производства ключевыми показателями, которые превышают установленные ПДК являются:

- активная реакция водных растворов (pH) – превышение может составлять более 30 % от установленных нормативных требований;
- общая минерализация (сухой остаток) – пиковые превышения могут составлять в определённые периоды более 100 %.

Вместе с тем такие превышения не являются стационарными (стабильными), а возникают нестационарно и периодически на протяжении рабочей смены (суток, недели) зависимо от производимого ассортимента продукции, что создаёт объективные предпосылки для сглаживания превышений ПДК по показателю «Общая минерализация» путём установки ёмкости регулирования отведения в городскую канализацию сточных вод с соответствующей системой автоматического управления. Таким образом может быть достигнуто стабилизирование данного показателя качества водных растворов.

Анализ результатов показал, что во всех отобранных пробах, кроме агрегата «Оптима»,

удаётся эффективно снизить pH до ПДК внесением кислотосодержащего коагулянта $FeCl_3$. При этом фиксируется рост «общей минерализации», порядка 30 % от исходного, при превышении ПДК по данному показателю уже до начала водообработки.

Нормативно требуемого окисления органических загрязнителей сточных вод удалось достигнуть только с использованием электролизной установки на основе ферратной технологии (снижение значения ХПК почти в 7 раз); озонирование с УФ облучением значительного воздействия не оказало, что вызвано многокомпонентностью и сложно-окисляемостью поллютантов СВ предприятия.

Полученные результаты позволили впервые обосновать комбинированную схему очистки СВ с использованием AOPs-технологий, фактически с минимизацией использования классических химических реагентов и отдельной нейтрализацией загрязнённых водных растворов отделочного цеха.

Дальнейшие исследования для значительного улучшения экологического менеджмента и системного мониторинга качества отводимых сточных вод предприятий текстильной промышленности, необходимо нацелить на создание методики и информационно-аналитической си-

системы сбора информации о параметрах водоотведения в режиме реального времени [13]. При этом, с учётом наличия измерительных средств, способных работать в режиме реального времени в агрессивных средах, целесообразно выполнять контроль именно таких показателей качества сточных вод, как: **pH**, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), температура, электропроводность (для контроля показателя «общая минерализация»). Потенциально в точке ёмкости регулирования обосновано выполнить контроль показателя СВ «Мутность». При этом разрабатываемое измерительно-аналитическое решение должно иметь открытую

архитектуру: во-первых, обеспечивая возможность подключения других средств определения значений показателей сточных вод, во-вторых, давая возможность заполнять базу данных с использованием результатов лабораторных анализов.

Важным аспектом продолжения научных изысканий станет промышленное определение эколого-экономической эффективности созданной схемы ЛОС, поскольку лабораторные результаты, по мнению авторов, требуют значительной корректировки в промышленных условиях в контексте ресурсозатрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ануфриев, В. Н. (2015), Очистка сточных вод предприятий текстильной промышленности, *Экология на предприятии*, 2015, № 1, С. 87–96.
2. Белопухов, С. Л., Яшин, М. А., Слюсарев, В. И., Нефедьева, Е. Э., Шайхиев, И. Г. (2015), Технологии очистки сточных вод текстильных производств для снижения поступления токсикантов в природные поверхностные воды, *Вестник Казанского технологического университета*, 2015, Т. 18, № 5, С. 199–204.
3. Шуткова, М. А. (2006), Очистка высококонцентрированных сточных вод предприятий текстильной промышленности физико-химическими методами, *Сборник статей международной научно-технической конференции студентов, магистрантов и аспирантов «Молодежь – производству»*, УО «ВГТУ», Витебск, 2006, С. 227–229.
4. Ефимов, А. Я., Таварткиладзе, И. М., Ткаченко, Л. И. (1985), *Очистка сточных вод предприятий лёгкой промышленности*, Киев, 230 с.
5. Абдуллин, И. Ш., Нефедьев, Е. С., Ибрагимов, Р. Г., Парошин, В. В., Зайцева, О. В. (2013), Очистка сточных вод предприятий текстильной про-

REFERENCES

1. Anufriev, V. N. (2015), Wastewater treatment of textile industry enterprises [Ochistka stochnyh vod predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti], *Jekologija na predpriyatii – Ecology at the enterprise*, 2015, № 1, pp. 87–96.
2. Belopuhov, S. L., Jashin, M. A., Sliusarev, V. I., Nefed'eva, E. Je., Shajhiev, I. G. (2015), Technologies for wastewater treatment of textile industries to reduce the intake of toxicants in natural surface waters [Tehnologii ochistki stochnyh vod tekstil'nyh proizvodstv dlja snizhenija postuplenija toksikantov v prirodnye poverhnostnye vody], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Bulletin of the Kazan Technological University*, 2015, № 5, pp. 199–204.
3. Shutkova, M. A. (2006), Purification of highly concentrated wastewater of textile industry enterprises by physico-chemical methods [Ochistka vysoko koncentrirovannyh stochnyh vod predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti fiziko-himicheskimi metodami], *Collection of articles of the international scientific and technical conference of students, undergraduates and postgraduates "Youth – production"*, 2006, pp.

- мышленности на основе модифицированных композиционных мембран, *Вестник Казанского технологического университета*, 2013, Т. 16, № 3, С. 22–27.
6. Mir-Tutusaus, J. A., Jaén-Gil, A., Barceló, D., Buttiglieri, G., Gonzalez-Olmos, R., Rodriguez-Mozaz, S., Caminal, G., Sarrà, M. (2021), Prospects on coupling UV/H₂O₂ with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater, *Science of The Total Environment*, 2021, Vol. 773, Article 145374.
 7. Homonnay, Z., Perfilief, Yu. D., Sharma, V. K. (2020), Characterization of FeVI and Other Oxidation States of Iron by Spectroscopic Methods, *Proceedings of International Symposium*, 2020, pp. 55–63.
 8. Stasinakis, A. S. (2019), Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment – A mini review, *Global NEST Journal*, 2019, Vol. 10 (3), pp. 376–385.
 9. Costa, E. P., Roccamante, M., Amorim, C. C., Oller, I., Sánchez Pérez, J. A., Malato, S. (2020), New trend on open solar photoreactors to treat micropollutants by photo-Fenton at circumneutral pH: Increasing optical pathway, *Chemical Engineering Journal*, 2020, Vol. 385, Article 123982.
 10. Shtepa, V., Balintova, M., Chernysh, Ye., Chubur, V., Demcak, S., Gautier, M. (2021), Rationale for the Combined Use of Biological Processes and AOPs in Wastewater Treatment Tasks, *Applied Sciences*, 2021, Vol. 11, Iss. 16, 7551.
 11. Штепа, В. Н., Киреев, С. Ю., Козырь, А. В., Шикунец, А. Б., Наумов, Л. В., Киреева, С. Н. (2022), Оценка эффективности параметров безреагентной электролизной очистки сточных вод от азотсодержащих соединений, *Гальванотехника и обработка поверхности: научный журнал*, 2022, Т. 30, № 4, С. 48–56.
 - 227–229.
 4. Efimov, A. Ja. (1985), *Ochistka stochnyh vod predpriyatij ljogkoj promyshlennosti* [Wastewater treatment of light industry enterprises], Kiev, 230 p.
 5. Abdullin, I. Sh., Nefed'ev, E. S., Ibragimov, R. G., Paroshin, V. V., Zajceva, O. V. (2013), Wastewater treatment of textile industry enterprises based on modified composite membranes [Ochistka stochnyh vod predpriyatij tekstil'noj promyshlennosti na osnove modifitsirovannykh kompozitsionnykh membran], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Bulletin of Kazan Technological University*, 2013, № 3, pp. 22–27.
 6. Mir-Tutusaus, J. A., Jaén-Gil, A., Barceló, D., Buttiglieri, G., Gonzalez-Olmos, R., Rodriguez-Mozaz, S., Caminal, G., Sarrà, M. (2021), Prospects on coupling UV/H₂O₂ with activated sludge or a fungal treatment for the removal of pharmaceutically active compounds in real hospital wastewater, *Science of The Total Environment*, 2021, Vol. 773, Article 145374.
 7. Homonnay, Z., Perfilief, Yu. D., Sharma, V. K. (2020), Characterization of FeVI and Other Oxidation States of Iron by Spectroscopic Methods, *Proceedings of International Symposium*, 2020, pp. 55–63.
 8. Stasinakis, A. S. (2019), Use of selected advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater treatment – A mini review, *Global NEST Journal*, 2019, Vol. 10 (3), pp. 376–385.
 9. Costa, E. P., Roccamante, M., Amorim, C. C., Oller, I., Sánchez Pérez, J. A., Malato, S. (2020), New trend on open solar photoreactors to treat micropollutants by photo-Fenton at circumneutral pH: Increasing optical pathway, *Chemical Engineering Journal*, 2020, Vol. 385, Article 123982.
 10. Shtepa, V., Balintova, M., Chernysh, Ye., Chubur, V., Demcak, S., Gautier, M. (2021), Rationale

12. Дубенок, С. А. (2017), *Расчет нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ со сточными водами в водные объекты: пособие*, Минск, 37 с.
13. Штепа, В. Н. (2014), Энергетические критерии производственного внедрения экологически безопасных технологий (канал управления – очистка сточных вод (водоподготовка), *Инновации в сельском хозяйстве: теоретический и научно-практический журнал*, 2014, № 4 (9), С. 167–171.
11. Shtepa, V. N., Kireev, S. Ju., Kozyr', A. V., Shikunec, A. B., Naumov, L. V., Kireeva, S. N. (2022), Evaluation of the effectiveness of the parameters of reagent-free electrolysis wastewater treatment from nitrogen-containing compounds [Ocena jeffektivnosti parametrov bezreagentnoj jelektroliznoj ochistki stochnyh vod ot azotso-derzhashhih soedinenij], *Gal'vanotehnika i obrabotka poverhnosti: nauchnyj zhurnal – Electroplating and surface treatment: scientific journal*, 2022, № 4, pp. 48–56.
12. Dubenok, S. A. (2017), *Raschet normativov dopustimyh sbrosov zagryaznyayushchih veshchestv so stochnymi vodami v vodnye obyekty: posobie*, Minsk, 37 s.
13. Shtepa, V. N. (2014), Energy criteria for the industrial implementation of environmentally friendly technologies (control channel – wastewater treatment (water treatment) [Jenergeticheskie kriterii proizvodstvennogo vnedrenija jekologicheski bezopasnyh tehnologij (kanal upravljenja – ochistka stochnyh vod (vodopodgotovka)], *Innovacii v sel'skom hozjajstve: teoreticheskij i nauchno-prakticheskij zhurnal – Innovations in agriculture: theoretical and scientific-practical journal*, 2014, № 4 (9), pp. 167–171.

Статья поступила в редакцию 03. 04. 2023 г.

ОСОБЕННОСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ ЭКОНОМИКИ БЕЛАРУСИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕШНИХ ШОКОВ

FEATURES OF INVESTMENT ACTIVITY OF BELARUS UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL SHOCKS

УДК 330.322

Н.Н. Бондаренко*

Институт бизнеса

Белорусского государственного университета

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-125-138>

N. Bandarenka*

School of Business

of Belarusian State University

РЕФЕРАТ

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ, ДОЛГОВЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ, ПРЯМЫЕ ИНВЕСТИЦИИ, ПОРТФЕЛЬНЫЕ ИНВЕСТИЦИИ, РЕИНВЕСТИРОВАНИЕ ДОХОДОВ, ИНВЕСТИЦИОННЫЙ КЛИМАТ, ЭКОНОМИЧЕСКИЕ САНКЦИИ

Инновационный путь развития Республики Беларусь требует привлечения и вложения инвестиционных ресурсов. Инвестиции наряду с инновациями выступают одним из фактором ускорения социального и экономического развития страны получателя – реципиента инвестиций. При этом потоки инвестиций во многом зависят от внешних факторов, таких как закрытость границ, наличие экономических санкций, финансовая взаимозависимость между странами и др. Целью исследования является оценка тенденций привлечения иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь в текущих условиях внешнеэкономических взаимоотношений.

В статье проанализированы тенденции инвестиционной деятельности Республики Беларусь за 2014–2022 годы. Обобщены факторы, влияющие на формирование инвестиционной привлекательности страны, а также на структуру и объемы инвестирования. Изучено влияние пандемии и внешних экономических санкций в краткосрочной перспективе на динамику инвестиционных потоков страны.

ABSTRACT

INVESTMENT ACTIVITY, DEBT INSTRUMENTS, DIRECT INVESTMENT, PORTFOLIO INVESTMENT, INCOME REINVESTMENT, INVESTMENT CLIMATE, ECONOMIC SANCTIONS

The innovative development of the economy of the Republic of Belarus requires the attraction of investment resources. Investments, along with innovations, are one of the factors in accelerating the social and economic development of the country. At the same time, investment flows largely depend on external factors, such as the closed borders, the presence of economic sanctions, financial interdependence between countries, etc. The purpose of the study is to assess the trends in attracting foreign investment to the economy of the Republic of Belarus under the current conditions of foreign economic relations.

The article analyses the trends in the investment activity of the Republic of Belarus for 2014–2022. The factors influencing the formation of the investment attractiveness of the country, as well as the structure and volume of investment are summarized. The impact of the pandemic and external sanctions in the short term on the dynamics of the country's investment flows is determined.

The analysis is based on data from the National Statistical Committee and the National Bank of the Republic of Belarus.

* E-mail: bondnata@mail.ru (N. Bandarenka)

Анализ основан на данных Национального статистического комитета и Национального банка Республики Беларусь.

ВВЕДЕНИЕ

Повышенное внимание к вопросам привлечения иностранных инвестиций обусловлено их важным значением для успешного роста экономики. При этом особая роль отводится прямым инвестициям, которые не только выступают одним из факторов развития мировых технологий, создания новых высокопроизводительных рабочих мест, но и основой для формирования конкурентоспособного отечественного производства, а также источником финансовой поддержки экономики в периоды экономических спадов и кризисов.

Для Республики Беларусь прямые иностранные инвестиции (ПИИ) приобретают стратегически важное значение в связи с ограниченностью внутренних источников финансирования инвестиций в основной капитал. Стимулирование притока ПИИ способствует использованию новых прогрессивных технологий и техники в производстве, внедрению маркетинговых и управленческих ноу-хау, более быстрому выходу на новые рынки с конкурентоспособной продукцией, а также сокращению нерационального импорта [1]. Однако начало пандемии, за которой последовало закрытие границ между странами, а также введение экономических санкций в августе 2020 года значительно повлияли на инвестиционный потенциал страны.

Кроме того, одним из значимых факторов увеличения притока ПИИ в национальную экономику является участие стран в процессах региональной и межгосударственной экономической интеграции. Так, целью создания в 2012 году Единого экономического пространства (ЕЭП), а на его основе в 2014 году и Евразийского экономического союза, является «повышение инвестиционной привлекательности и конкурентоспособности участников объединения на международной арене», что подразумевает «обеспечение свободы перемещения не только товаров, услуг, рабочей силы, но и капитала (инвестиций) через границы государств участников» [2]. В то

же время, активное участие Республики Беларусь в международных интеграционных процессах, осуществление ею многовекторной внешнеэкономической политики, а также активное взаимодействие стран в рамках межгосударственных и межрегиональных объединений в свою очередь обуславливают влияние внешних факторов на состояние инвестиционных потоков.

В этой связи актуальным является выявление факторов, влияющих на динамику потоков прямых иностранных инвестиций Республики Беларусь за период 2014–2021 гг., а также изучение влияния на них чрезвычайных внешних событий в краткосрочной перспективе. Целью данного научного исследования является оценка тенденций привлечения иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь в текущих условиях внешнеэкономических взаимоотношений.

Тенденции привлечения иностранных инвестиций в 2014–2019 гг.

Тенденции в привлечении иностранных инвестиций во многом зависят от инвестиционного климата и инвестиционного имиджа страны на мировой арене. Для их улучшения, а также для стимулирования инвестиционной деятельности в Республике Беларусь разработаны ряд программ и документов, одним из которых является «Стратегия привлечения прямых иностранных инвестиций в Республику Беларусь до 2025 года, целями которой выступают не только увеличение притока прямых иностранных инвестиций и улучшение инвестиционного климата; но и повышение эффективности инвестиционной деятельности в целом [3].

Однако анализ потоков иностранных инвестиций за период 2014–2019 гг. отражает четкую тенденцию их снижения (рисунок 1).

Если в 2011 году по сравнению с 2005 годом валовое поступление иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь увеличилось более чем в 10 раз (в том числе прямые иностранные инвестиции – почти в 30 раз) [1], то с 2014 г. различные показатели прямых иностран-



Рисунок 1 – Поступление иностранных инвестиций в Республику Беларусь за 2014–2019 гг. (млрд долларов)

Источник: составлено автором по данным [4, с. 321].

ных инвестиций демонстрируют их отток из Беларуси. Так, за период 2014–2019 гг. объем поступивших инвестиций снизился с 15084,4 млн долл. до 10006,8 млн долл. (в том числе прямых иностранных инвестиций – на 30 %).

Индикатором значимости прямых иностранных инвестиций для экономики страны является показатель их удельного веса в ВВП. Если в 2009 удельный вес инвестиций в ВВП Республики Беларусь был равен 18,5 %, и в 2011 году достиг уровня 31 %, то, начиная с 2014 года, его величина не превышала 20 %, снизившись к 2019 году до 15,5 %, а доля прямых иностранных инвестиций в ВВП снизилась к 2019 году до 11,2 % (таблица 1).

Снижение общего объема инвестиционных потоков в наибольшей степени отразилось на темпах роста в таких отраслях экономики, как транспортная деятельность (в 2019 г. по сравнению с 2014 г. минус 52 %), информация и связь (в 2019 г. на 60 % меньше, чем в 2014 г.), а также сельское, лесное и рыбное хозяйство и строи-

тельство (минус 34 % и 30,3 % соответственно). В наименьшей мере снижение коснулось промышленности и оптовой и розничной торговли (в 2019 г. темп роста по отношению в 2014 г. соответственно составил 91,1 % и 74 %) [4, с. 322]. На этом фоне выделяется финансовая и страховая деятельность: поступление иностранных инвестиций в эту сферу не только не снизилось за анализируемый период, но и продемонстрировало рост – 126 % в 2019 г. по сравнению с 2014 годом.

В отраслевой структуре притока инвестиций на протяжении анализируемого периода лидируют три отрасли экономики: промышленность, торговля и транспорт – суммарная доля этих трех отраслей в 2019 г. составила более 83 % и течение 2014–2019 гг. находилась в пределах 78,6–86,1 %. Высокий удельный вес инвестирования в вышеуказанные отрасли объясняется наличием в них более высокого уровня производительности труда, что является привлекательным для иностранных инвесторов (рисунок 2).

Таблица 1 – Удельный вес иностранных инвестиций Республики Беларусь в валовом внутреннем продукте за 2009–2019 гг.

	2009	2011	2013	2015	2016	2017	2018	2019
Поступление иностранных инвестиций, млн долл., в том числе:	9393,7	18878,6	14974,3	11344,2	8559,8	9728,5	10842,0	10006,8
– прямых иностранных инвестиций	4 821,1	13 248,0	11 083,4	7 241,4	6 928,6	7 634,2	8 537,1	7 233,2
Валовой внутренний продукт, млн долл.	50763,6	60893,4	75233,3	56813,2	48118,2	54689,7	59942,1	64554,4
Удельный вес в ВВП (%):								
– общего объема поступивших инвестиций	18,5	31,0	19,9	20,0	17,8	17,8	18,1	15,5
– прямых иностранных инвестиций	9,5	21,8	14,7	12,7	14,4	14,0	14,2	11,2

Источник: составлено автором по данным [4, с. 321].

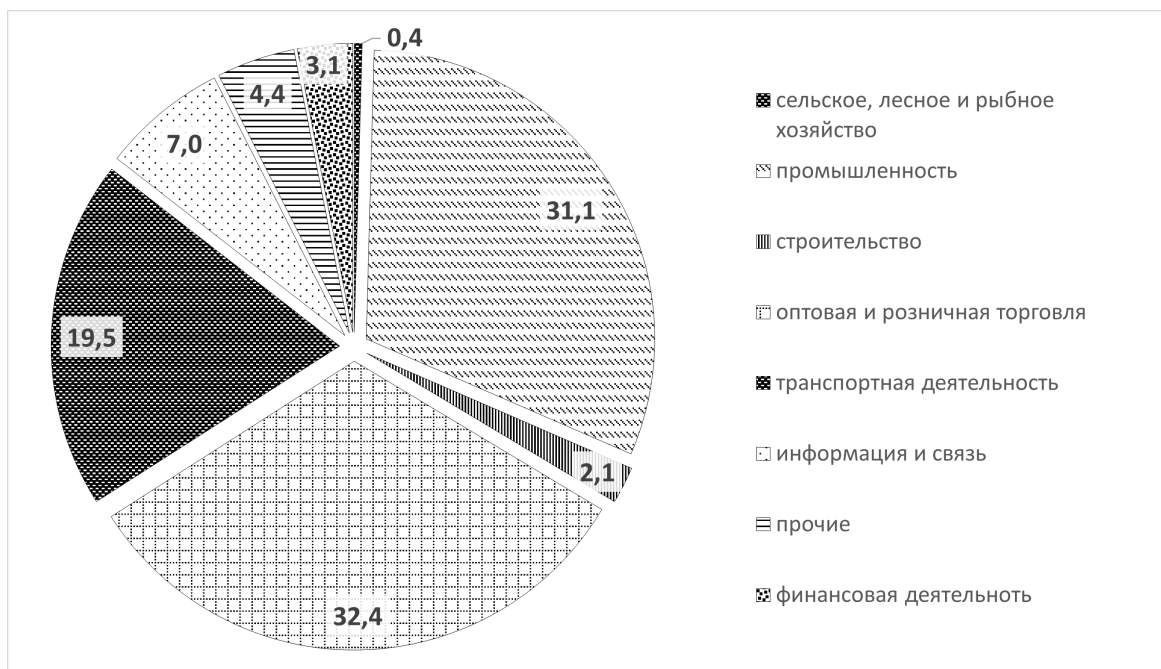


Рисунок 2 – Отраслевая структура объема иностранных инвестиций, поступивших в Республику Беларусь в 2019 гг. (%)

Источник: составлено автором по данным [4, с. 322].

Структура стран-инвесторов в Республику Беларусь за 2014–2019 гг. значительно не изменилась. В тройку лидеров в 2019 г. входили Российская Федерация (45,1 %), Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии (18 %) и Кипр (7,6 %). Доля инвестиционных потоков из Австрии составляла 4,4 %, а из Украины – 3,7 % от общего объема поступивших инвестиций [4, с. 325].

С 2011 наряду с валовыми потоками инвестиций, поступающими в экономику страны, рассчитывается показатель прямых иностранных инвестиций «на чистой основе», позволяющий оценить возможность использования инвестиционных потоков как источника финансирования текущего счета платежного баланса страны. Высокая аналитичность этого показателя заключается в том, что в состав прямых иностранных инвестиций на чистой основе не включается задолженность прямому инвестору за товары (ра-

боты, услуги), а также часть нераспределенной чистой прибыли организации, которая направляется в дальнейшее развитие организации. Так как такие реинвестиции не поступают в экономику страны извне, а генерируются и используются внутри страны, они не обеспечивают реальный приток ПИИ [5].

За период 2014–2019 гг. объем прямых иностранных инвестиций на чистой основе демонстрировал тенденцию к снижению, за исключением 2018 г. (рисунок 3).

В 2018 г. приток прямых иностранных инвестиций (ПИИ) на чистой основе (без учета задолженности прямому инвестору за товары, работы, услуги) составил 1634,9 млн долл. США и увеличился по сравнению с аналогичным периодом 2017 г. на 31,1 %. При этом в реальный сектор экономики в 2018 г. поступило на 15,5 %, а в банковском секторе – в 3,1 раза больше ПИИ по сравнению с предыдущим годом. Такой рост

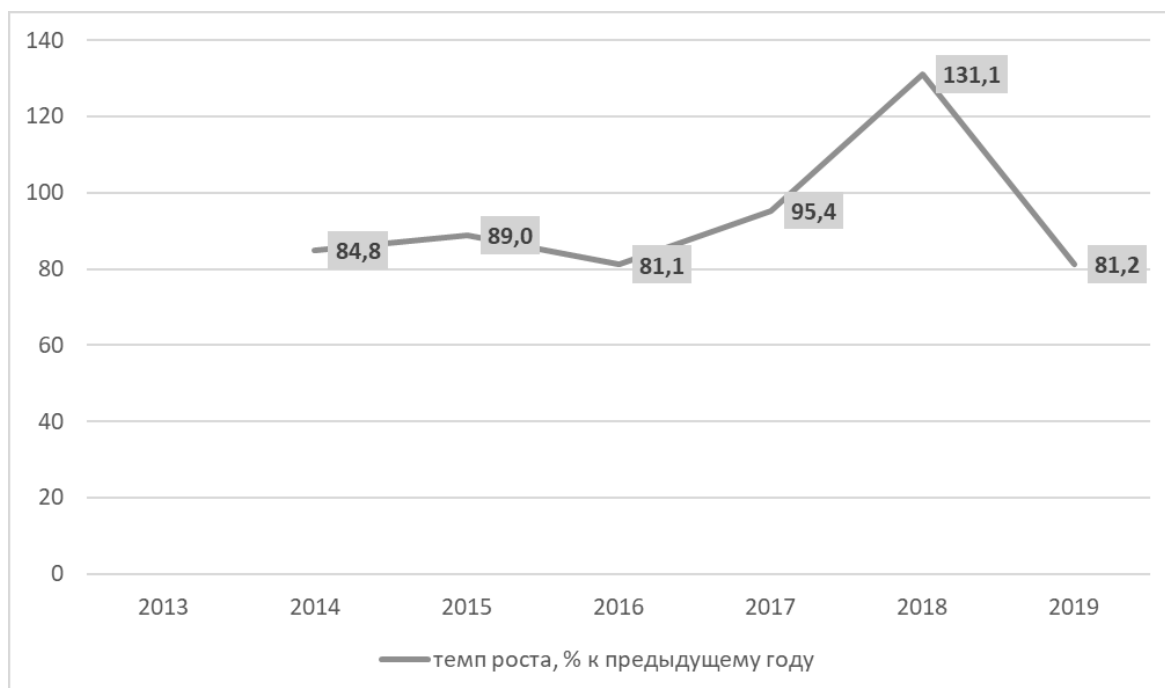


Рисунок 3 – Темпы роста объема прямых иностранных инвестиций на чистой основе, поступивших в Республику Беларусь за 2014–2019 гг. (%)

Источник: составлено автором по данным [4, с. 322].

инвестиционной активности в 2018 г. был в некоторой степени обусловлен умеренным экономическим ростом, который национальная экономика Республики Беларусь демонстрировала на протяжении всего 2018 г. [5].

Обращает на себя внимание структура прямых инвестиций по инструментам инвестирования (рисунок 4). Доля капитальных вложений в уставные фонды, характеризующая действительно прямые инвестиции, на протяжении всего периода не превышает 30–40 %. Около 14 % всех ПИИ составляют долговые инструменты, которые в будущем потребуют возврата капитала. Но самое главное – наибольшая часть инвестиционных вложений (более 50 %) представляет собой реинвестирование прибыли, т. е. не приток новых денег в экономику, а лишь оборот доходов, полученных в основном внутри страны.

Таким образом, после активного роста потоков инвестиций в экономику Республики Беларусь на протяжении 2005–2011 гг., начиная с

2012–2013 гг. наблюдается устойчивое снижение различных показателей инвестиционной активности. В экономической литературе эту тенденцию называют «инвестиционным разворотом», одна из причин которого – глобальные тенденции оттока ПИИ из развивающихся стран и переформатирование инвестиционной карты мира [8]. Основными внутренними причинами, обусловившими устойчивое снижение инвестиционных потоков в Беларусь в течение анализируемого периода, по мнению экспертов, являются [8]:

- падение темпов роста производства, ВВП, реальных доходов населения, а также снижение производительности труда;
- ухудшение финансового состояния организаций с иностранным капиталом, и, как следствие, соответствующее снижение реинвестирования;
- высокий риск расторжения инвестиционных соглашений вследствие невыполнения взя-

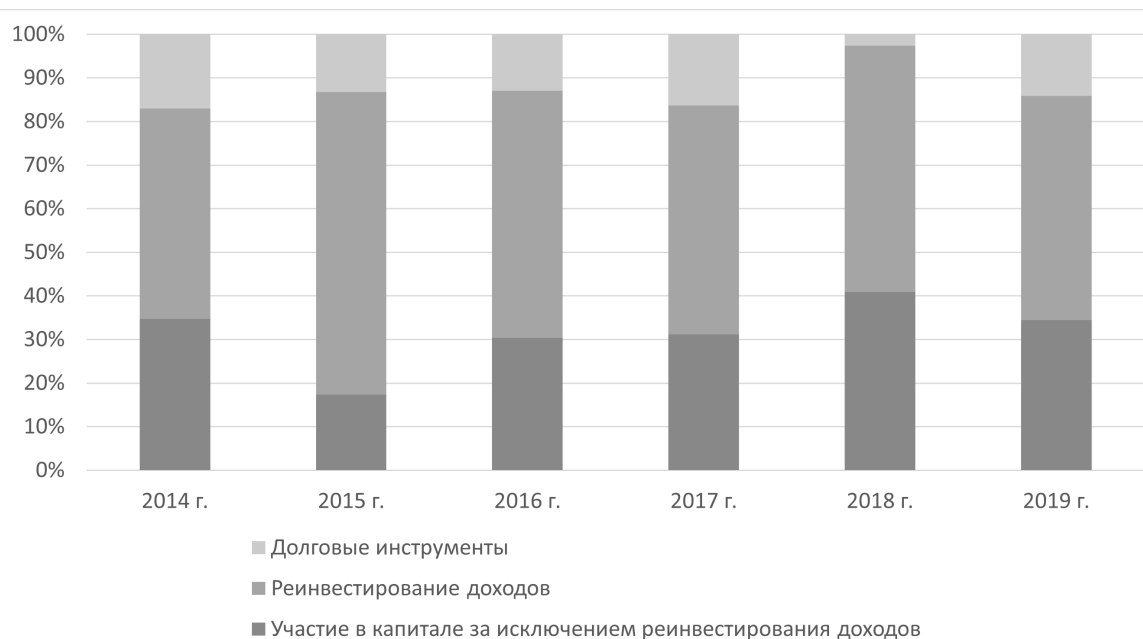


Рисунок 4 – Структура прямых иностранных инвестиций за 2014–2019 гг. по инструментам инвестирования (%)

Источник: составлено автором по данным [7].

тых инвестором на себя обязательств;

– неудовлетворительный инвестиционный климат, о чем свидетельствует невысокое положение страны в рейтинге экономической свободы (Index of Economic Freedom The Heritage Foundation).

Особенности иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь после 2020 г.

2020 год охарактеризовался во всем мире резким сокращением глобальных потоков прямых иностранных инвестиций. Пандемия COVID-19, а также меры по смягчению ее последствий и запреты привели к прекращению или отсрочкам в реализации инвестиционных проектов, закрытию объектов и замораживанию производств. Это коснулось как инвестиционных проектов «с нуля», так и инвестиций, связанных с расширением производства [9].

Мировой финансовый кризис 2020 года, вызванный пандемией COVID-19, усилил негативные тенденции в движении ПИИ и для Республики Беларусь. Однако помимо влияния

мирового экономического кризиса, вызванного пандемией COVID-19, во второй половине 2020 года значимым фактором, влияющим на тенденции привлечения иностранного капитала в страну, становится политический. Экономические санкции, введенные в отношении Беларуси, со стороны стран Европы и США, обусловили дальнейшее снижение объемов поступления иностранных инвестиций в экономику страны.

В 2020 году в Республику Беларусь было привлечено 8,7 млрд долл. США иностранных инвестиций, что 13 % меньше, чем в 2019 г. Прямые иностранные инвестиции, направленные в экономику страны, составили 6,0 млрд долл. США (69,2 % от всех поступивших иностранных инвестиций), снизившись по сравнению с предыдущим годом на 17 % (рисунок 5). При этом Республика Беларусь, одна из немногих в мире в 2020 году увеличила объем ПИИ на чистой основе, сумев привлечь 1,4 млрд долларов, что на 6,6 % больше объемов предыдущего года. Рост ПИИ на чистой основе свидетельствует о том,

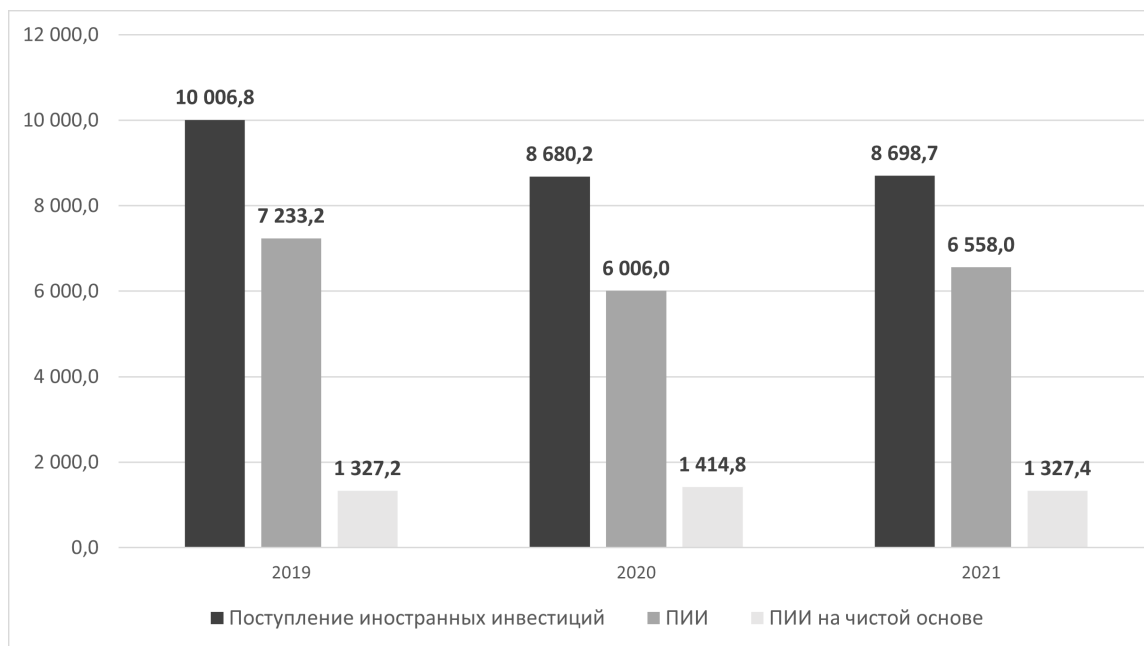


Рисунок 5 – Динамика иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь за 2019–2021 гг. (млн долларов)

Источник: составлено автором по данным [4, с. 321].

что инвесторы, с одной стороны, снизили объемы инвестирования, но, с другой, – стали меньше изымать средств из инвестиционных проектов.

За 2020 год ПИИ на чистой основе в Беларусь из стран Европейского союза увеличились на 19,6 % (и составили 583,342 млн долл.), в то время как рост инвестиций из стран ЕАЭС составил плюс 16,6 % (до 314,571 млн долл.) [10].

Однако, несмотря на существенный рост, официальный прогноз по привлечению прямых иностранных инвестиций на чистой основе на 2020 г., установленный в размере 1,7 млрд долл. был выполнен только на 83,2 %. Около 78,6 % ПИИ на чистой основе в белорусскую экономику было вложено в предприятия пяти видов деятельности – обрабатывающей промышленности, торговли, транспорта, информации и связи, а также финансов и страхования [10].

Среди стран дальнего зарубежья наибольший рост потоков прямых иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь продемонстрировали такие страны, как Нидерланды (рост в 2,5 раза по сравнению с 2019 г.), Германия (+58,5 %), США (+26,2 %), Литва (+21,7 %), Швейцария (+16,7 %) [4, с.325].

В 2021 году, несмотря на санкционное давление западных стран, стране удалось достичь незначительного роста притока инвестиций в экономику: валовой объем поступивших инвестиций увеличился на 0,2 %, а прямые иностранные инвестиции показали рост плюс 9 % (рисунок 5).

Как и в предыдущие годы, около трети всех валовых поступлений иностранных инвестиций было направлено в сферу торговли (28 % в 2020 г. и 31,4 % в 2021г.). Вместе с тем, отмечается рост удельного веса инвестиций в промышленность (если в 2019 г. он составлял 31,1 %, то в 2021 г. достиг 36,4 %), а также значительное снижение доли инвестиционных вложений в транспортную отрасль (11,4 % в 2021 г. против 19,5 % в 2019 г. и 32,5 % в 2016 г.).

Как и ранее, в 2020–2021 гг. в тройку основных инвесторов Республики Беларусь входили Российская Федерация, Украина, Кипр, чья суммарная доля поступления иностранных инвестиций в реальный сектор Беларуси составляла более 71 %, а доля ПИИ – 71,9 % (рисунок 6).

Так же, как и в прошлые годы, в 2020–2021 гг. вложения в белорусскую экономику идут в основном за счет реинвестирования при минимальной доле ресурсов, вкладываемых в новые проекты [10]. Сохраняется также и особенность распределения инвестиционных потоков внутри республики – наибольшей привлекательностью для инвесторов по прежнему являются организации г. Минска (со значительным отрывом) и на втором месте – Минской области. Частично это объясняется тем, что регистрация зарубежными инвесторами головных подразделений осуществляется в основном в столице республики. Однако, в значительной степени оказывает влияние и меньшая инвестиционная привлекательность регионов, вызванная сниженным потребительским спросом населения, худшим качеством инфраструктуры, менее развитым рынком труда и т.д.

С начала 2022 года последствия пандемии начали постепенно снижать свое негативное влияние на экономику Республики Беларусь, однако в этот период были введены новые пакеты санкций, связанных с началом специальной военной операции на территории Украины, что усиливает негативное влияние на процессы иностранного инвестирования. В этих реалиях прогнозы по привлечению ПИИ в экономику Беларуси в начале 2022 носили преимущественно пессимистический характер.

Однако объемы привлечения прямых иностранных инвестиций по итогам трех кварталов года продемонстрировали положительную динамику. В январе-марте 2022 в реальный сектор экономики Беларуси иностранные инвесторы вложили 3,4 млрд долл. инвестиций, 88,8 % которых составили ПИИ. При этом прямых иностранных инвестиций на чистой основе было привлечено 1818,3 млн долл., что стало рекордным значением по результатам первого квартала с 2014 года (рисунок 7) [11].

Эксперты предполагают, что одним из факторов, повлиявших на такой рекордный рост, стал ответный шаг Правительства Республики Беларусь на введенные пакеты санкций в виде Указа «О дополнительных мерах по обеспечению стабильного функционирования экономики», в соответствии с которым «в случае введения странами ограничительных мер, которые

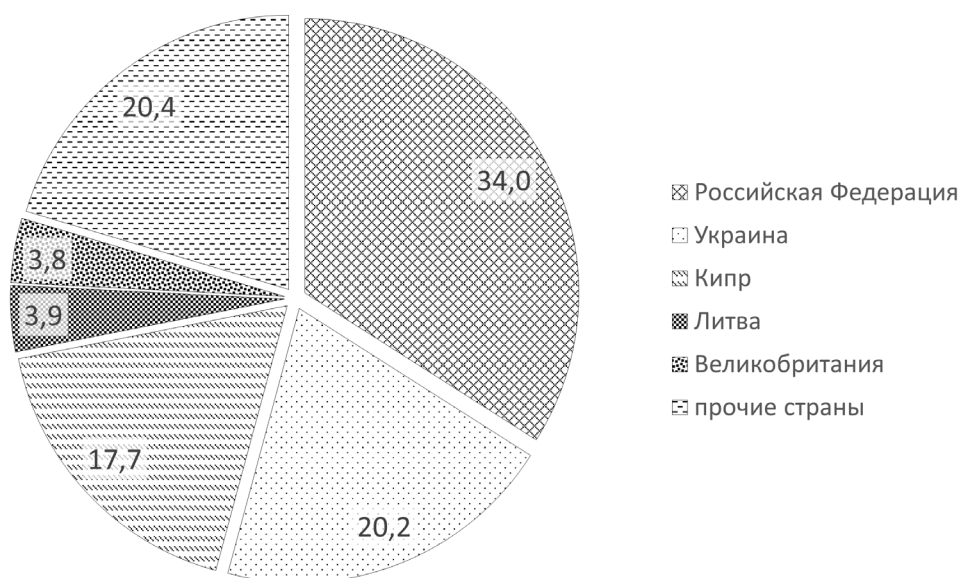


Рисунок 6 – Основные страны-инвесторы прямых иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь в 2021 гг. (%)

Источник: составлено автором по данным [4, с. 325].

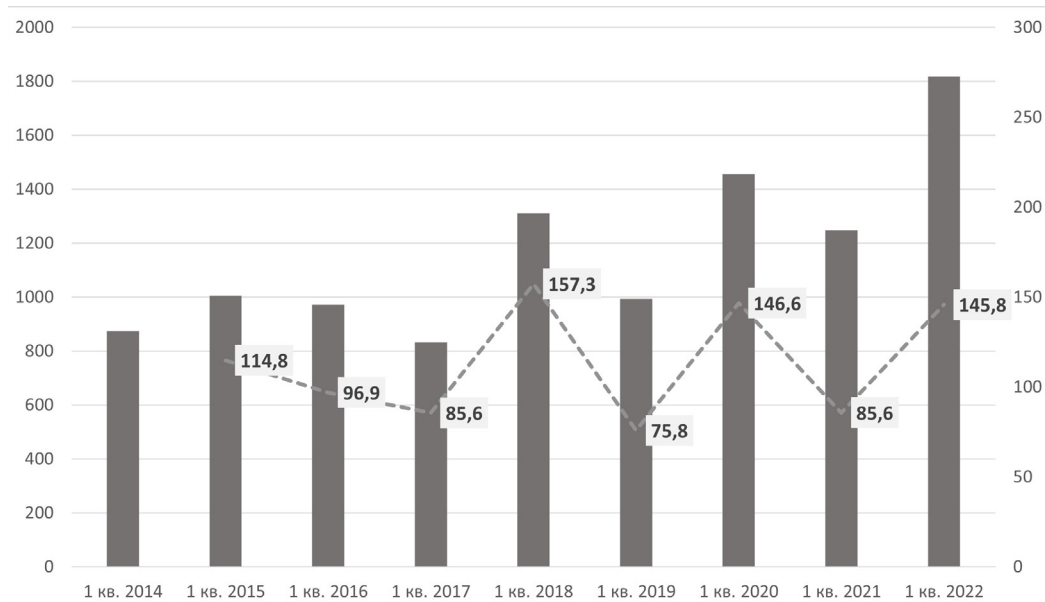


Рисунок 7 – Прямые иностранные инвестиции на чистой основе, привлеченные в экономику Республики Беларусь в первом квартале 2014–2022 гг.

Источник: составлено автором по данным [11].

предполагают фактическое замораживание инвестпроектов в Беларуси, приостановку их финансирования, лишение технической возможности проведения расчетов по госдолгу в валюте, Минфину, банкам-агентам, иным юрлицам предоставлено право по решению Совмина обеспечивать исполнение обязательств перед такими странами в белорусских рублях» [11].

По итогам 6 месяцев 2022 г. белорусская экономика привлекла 4,3 млрд долл. иностранных инвестиций, более 88 % которых составили прямые иностранные инвестиции, рост которых по сравнению с аналогичным периодом 2021 года составил + 4,4 %. При этом, так же как и по результатам первого квартала, наиболее значительно (на 45,8 %) увеличились прямые иностранные инвестиции на чистой основе. Инвесторы стали чаще реинвестировать прибыль (рост на 13,1 %), при этом значительно сократился объем долговых инструментов (на 14,2 %) [12].

Лидером по объему инвестиций в Беларусь за полугодие стала Россия (387,8 млн долл.), вложив по сравнению с предыдущим годом финансовых ресурсов на 40,7 % больше [13]. Такая активизация российских инвесторов частично обусловлена тем, что до 80 % экспортных поставок белорусской промышленности ориентировано на российский рынок и рынок стран СНГ, и после введения масштабных санкций в марте 2022 года, белорусские активы стали для российских инвесторов привлекательны в плане частичной компенсации разорванных производственных и логистических цепочек с западными странами. Примечательно, что, несмотря на экономические санкции, также значительно увеличились инвестиционные потоки из Нидерландов (рост в 6,1 раза), Кипра (+11,2 %), Германии (+10,3 %), Австрии (рост в 2,5 раза), Швейцарии (+75,1 %). Кроме того, в ТОП-10 инвесторов попали Объединенные Арабские Эмираты, инвестиции из которых составили 40 млн долл., продемонстрировал в 4,5 раза к 2021 году) [13].

Рост инвестиционных потоков в Беларусь продолжился и по результатам третьего квартала 2022 г.: ПИИ на чистой основе за 9 месяцев 2022 года составили 1,610 млрд долл., превысив показатель предыдущего года на 42,6 % (а 480,8 млн долл.) [14]. В отличие от чистого притока ресурсов в первом квартале года, во

втором и третьем квартале отмечался чистый отток средств из страны. Однако такая инвестиционная картина в разрезе кварталов является типичной для Республики Беларусь, так как во втором и третьем кварталах года осуществляется репатриация прибыли зарубежным владельцам активов через начисление и выплату дивидендов, следовательно, отток финансовых средств превышает валовой приток инвестиций в страну.

Основные объемы инвестиций были направлены в реальный сектор экономики (1,267 млрд долл. ПИИ на чистой основе), продемонстрировав рост по сравнению с аналогичным периодом прошлого года +40,9 %. Финансовые вложения в банковский сектор страны увеличились на 60,4 %, достигнув 256,3 млн долл. [14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиление глобализации мировой экономики и финансовой системы привело к повышению чувствительности национальных экономик к событиям на внешних рынках и к экзогенным шокам внешнего сектора, которые затрагивают не только реальный и финансовый сектор, внешнеторговую деятельность, но и инвестиционную составляющую.

Характерными особенностями привлечения иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь является тот факт, что после активного роста потоков инвестиций на протяжении 2005–2011 гг., начиная с 2012–2013 гг. наблюдается устойчивое снижение различных показателей инвестиционной активности, частично обусловленное влиянием мирового финансового кризиса и высоким инвестиционным риском и т. д. При этом, вложения в белорусскую экономику идут в основном за счет реинвестирования при минимальной доле ресурсов, вкладываемых в новые проекты. Кроме того, несмотря на наличие стимулирующих режимов, направленных на привлечение инвестиций в регионы, инвесторы не спешат идти в белорусскую глубинку. Как следствие, большую часть инвестиционных вложений получает столичная агломерация (г. Минск и Минская область), что значительно сдерживает экономический рост в регионах и усиливает их дифференциацию.

В последние годы экономика Республики Беларусь вынуждена функционировать под жестким влиянием внешнеэкономических по-

трясений. Сначала это было закрытие границ и нарушение торговых и логистических цепочек между странами из-за пандемии, затем – введение и ужесточение санкций западными странами. Однако сегодня очевидно, что в краткосрочной перспективе влияние вышеперечисленных внешних факторов незначительно. Эксперты утверждают, что беспрецедентные изменения внешних условий в результате эскалации экономических санкций в отношении Беларуси (а также связанных с ней стран) будут оказывать влияние в средне- и долгосрочной перспективе. Так, по оценкам ЕАЭС, по результатам 2022 года потери государств – членов ЕАЭС могут составить: для Армении – 1,9–3,7 % от ВВП, Беларуси – 1,9–6,0 %, Казахстана – 1,1–2,2 %, Кыргызстана – 1,6–3,2 %, России – от 5 % до 10 % [15, с. 7].

Несмотря на то, что потоки иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь в первой половине 2022 года показали рекордный рост (как на валовой, так и чистой основах), по мнению аналитиков, это может быть банальным отражением временной концентрации денег в стране на фоне санкций, боевых действий в регионе и ограничений на трансграничные потоки капитала [11].

В связи с этим особое значение приобретает государственное регулирование инвестиционной деятельности, направленное не только на установление правил и механизмов привлечения и эффективного управления инвестициями, но и на минимизацию влияния внешних факторов. С этой целью в 2022 году руководством страны уже реализован ряд мер, направленных на увеличение инвестиционных потоков и поддержку инвестпроектов. В частности, особое

внимание было уделено экспортоориентированным и импортозамещающим инвестиционным проектам; оказывалась финансовая поддержка субъектам малого и среднего предпринимательства путем создания кредитного продукта «Стабилизационный» на срок до 5,5 лет под 7,5 % годовых, благодаря чему было поддержано 325 инвестиционных проектов МСП. Помимо этого, была установлена возможность реализовывать конфискованные или обращенные в доход государства акции открытых акционерных обществ на биржевом рынке [16].

В соответствии с Национальной стратегией устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. перспективными направлениями инвестирования в ближайшее время должны стать развитие ИТ-индустрии, цифровизация промышленного, строительного и транспортно-логистических процессов, внедрение интеллектуальных систем в сферу градостроительства, здравоохранения, образования и других сфер экономики [17]. По мнению экспертов, такая увязка инвестиционной политики со стратегиями цифрового развития может стать ключом к плодотворной интеграции Беларуси в мировую экономику и к повышению устойчивого экономического роста. В условиях цифровой экономики инвестиционная политика страны должна быть скоординирована с другими политиками в области обеспечения безопасности данных, конфиденциальности, конкуренции, защиты прав потребителей, национальной безопасности, секторальной и социальной политикой для смягчения потенциальных негативных социально-экономических последствий цифровой трансформации [17].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бондаренко, Н. Н. (2014), Тенденции привлечения иностранных инвестиций в Республику Беларусь, *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D «Экономические и юридические науки»*, 2014, № 13, С. 23–27.

REFERENCES

1. Bandarenka, N. (2014), Trends in attracting foreign investment to the Republic of Belarus [Tendencii privlechenija inostrannyh investicij v Respubliku Belarus'], *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D «Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki»* – *Vestnik*

2. Таможенный союз – Единое экономическое пространство – ЕАЭС, режим доступа: <https://economy.gov.by/ru/ts-ru/> (дата доступа: 5.12.2022).
3. Стратегия привлечения прямых иностранных инвестиций в Республику Беларусь до 2025 г., режим доступа: https://forumpravo.by/files/Ob_utverzhdenii_Strategii_privlecheniya_pryamyh_inostrannyh_investicij_v_Respubliku_Belarus_do_2025_goda.pdf (дата доступа: 05.12.2022).
4. Статистический ежегодник Республики Беларусь 2022 (2022), Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2022, 374 с.
5. Лавриненко, А. Р. (2011), Прямые иностранные инвестиции на чистой основе как объект статистического учета, *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия D «Экономические и юридические науки»*, 2011, № 6, С. 79–83.
6. Об итогах социально-экономического развития Республики Беларусь в 2018 году, режим доступа: http://economics.basnet.by/files/2018_ltoqi.pdf (дата доступа: 12.12.2022).
7. Платежный баланс, международная инвестиционная позиция и валовой внешний долг Республики Беларусь (2020), Национальный банк Республики Беларусь, 2020, 221 с.
8. Рудый, К. (2016), Прямые иностранные инвестиции в Беларуси: инвестиционный разворот, *Банковский вестник*, 2016, № 11, С. 8–13.
9. Муха, Д. (2020), Трансформация инвестиционной политики в условиях пандемии COVID-19, *Банковский вестник*, 2020, № 11, С. 59–72.
10. Иностранные инвестиции в Республике Беларусь. Обзор за 2020 год, режим доступа: https://primepress.by/analitika/inostrannye_investitsii_v_respublike_belarus_obzor_za_2020_god-30073/ (дата доступа: 15.12.2022).
2. Customs Union – Common Economic Space – EAEU [Tamozhennyj sojuz – Edinoe jekonomicheskoe prostranstvo – EAJeS], available at: <https://economy.gov.by/ru/ts-ru/> (accessed 5 December 2022).
3. Strategy for attracting foreign direct investment to the Republic of Belarus until 2025 [Strategija privlechenija prjamyh inostrannyh investicij v Respubliku Belarus' do 2025 g.], available at: https://forumpravo.by/files/Ob_utverzhdenii_Strategii_privlecheniya_pryamyh_inostrannyh_investicij_v_Respubliku_Belarus_do_2025_goda.pdf (accessed 5 December 2022).
4. Statistical Yearbook of the Republic of Belarus 2022 (2022), [Statisticheskij ezhegodnik Respubliki Belarus' 2022], National Statistical Committee of the Republic of Belarus, 2022, 374 p.
5. Lavrinenka, A. (2011), Direct foreign investments on a net basis as an object of statistical accounting [Prjamyje inostrannye investicii na chistoj osnove kak obekt statisticheskogo ucheta], *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya D «Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki» – Vestnik of the Polotsk State University. Series D "Economic and legal sciences"*, 2011, № 6, pp. 79–83.
6. On the results of the socio-economic development of the Republic of Belarus in 2018 [Ob itogah social'no-jekonomicheskogo razvitija Respubliki Belarus' v 2018 godu], available at: http://economics.basnet.by/files/2018_ltoqi.pdf (accessed 12 December 2022).
7. Balance of Payments, International Investment Position and Gross External Debt of the Republic of Belarus (2020) [Platezhnyj balans, mezhdunarodnaja investicionnaja pozicija i valovoj vneshnij dolg Respubliki Belarus'], National Bank of the Republic of Belarus, 2020, Minsk, 221 p.

11. В 1 квартале Беларусь пережила инвестиционный бум, режим доступа: <https://banki24.by/news/5392-v-1-kvartale-belarus> (дата доступа: 15.12.2022).
12. «Цифры и факты»: ПИИ на чистой основе выросли в 1,5 раза, режим доступа: <https://economy.gov.by/ru/news-ru/view/tsifry-i-fakty-pii-na-chistoj-osnove-vyrosli-v-15-raza-46711-2022/> (дата доступа: 15.12.2022).
13. Кто больше всех инвестирует в Беларусь в 2022-м, режим доступа: <https://banki24.by/news/5575-kto-bolshe-vseh-investiruet> (дата доступа: 18.12.2022).
14. Инвестиции в Беларусь и выросли, и упали, режим доступа: <https://banki24.by/news/5688-investicii-v-belarus-i> (дата доступа: 18.12.2023).
15. Об итогах и перспективах социально-экономического развития государств – членов Евразийского экономического союза и мерах, предпринятых государствами-членами в области макроэкономической политики. Годовой доклад за 2021 год, режим доступа: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/d19/Annual_report_2021.pdf (дата доступа: 10.12.2022).
16. Комплекс мер по запуску нового инвестиционного цикла, режим доступа: <https://economy.gov.by/ru/rumeropriyatiya-ru/> (дата доступа: 02.03.2023).
17. Муха, Д. В. (2022), Концептуальные направления совершенствования инвестиционной политики Беларуси в условиях цифровой трансформации национальной экономики, *Бизнес. Образование. Экономика*, Минск: Институт бизнеса БГУ, 2022. – С. 422–427.
8. Rudy, K. (2016), Direct foreign investments in Belarus: an investment turn [Prjamyje inostrannye investicii v Belarusi: investicionnyj razvorot], *Bank Vesnik*, 2016, № 11, pp. 8–13.
9. Mukha, D. (2020), Transformation of investment policy in the context of the COVID-19 pandemic [Transformacija investicionnoj politiki v uslovijah pandemii COVID-19], *Bank Vesnik*, 2020, № 11, pp. 59–72.
10. Foreign investments in the Republic of Belarus. Review for 2020 [Inostrannye investicii v Respublike Belarus'. Obzor za 2020 god], available at: https://primepress.by/analitika/inostrannye_investitsii_v_respublike_belarus_obzor_za_2020_god-30073/ (accessed 15 December 2022)
11. In the 1st quarter Belarus experienced an investment boom [V 1 kvartale Belarus' perezhila investicionnyj bum], available at: <https://banki24.by/news/5392-v-1-kvartale-belarus> (accessed 15 December 2022).
12. "Figures and Facts": FDI on a net basis grew 1.5 times ["Cifry i fakty": PII na chistoj osnove vyrosli v 1,5 raza], available at: <https://economy.gov.by/ru/news-ru/view/tsifry-i-fakty-pii-na-chistoj-osnove-vyrosli-v-15-raza-46711-2022/> (accessed 15 December 2022).
13. Who invests the most in Belarus in 2022 [Kto bol'she vseh investiruet v Belarus' v 2022-m], available at: <https://banki24.by/news/5575-kto-bolshe-vseh-investiruet> (accessed 18 December 2022).
14. Investments in Belarus both grew and fell [Investicii v Belarus' i vyrosli, i upali], available at: <https://banki24.by/news/5688-investicii-v-belarus-i> (accessed 18 December 2022).
15. On the results and prospects of the socio-economic development of the member states of the Eurasian Economic Union and the measures taken by the member states in the

field of macroeconomic policy. Annual Report 2021. [Ob itogah i perspektivah social'no-jekonomicheskogo razvitija gosudarstv – chlenov Evrazijskogo jekonomicheskogo sojuza i merah, predprinjatyh gosudarstvami – chlenami v oblasti makrojekonomicheskoy politiki. Godovoj doklad za 2021 god], available at: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/d19/Annual_report_2021.pdf (accessed 10 December 2022)

16. A set of measures to launch a new investment cycle [Kompleks mer po zapusku novogo investicionnogo cikla], available at: <https://economy.gov.by/ru/rumeropriyatiya-ru/> (accessed 02 March 2023).

17. Mukha, D. (2022), Conceptual directions for improving investment policy of Belarus in the context of national economy digital transformation [Konceptual'nye napravlenija sovershenstvovaniya investicionnoj politiki Belarusi v uslovijah cifrovoj transformacii nacional'noj jekonomiki], *Business. Education. Economics*, 2022, p. 422–427.

Статья поступила в редакцию 05. 03. 2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ И НАПРАВЛЕНИЯ ЕГО ПОВЫШЕНИЯ

STUDY OF THE INVESTMENT POTENTIAL OF THE SMOLENSK REGION AND THE DIRECTIONS OF ITS INCREASE

УДК 332.1

Е.В. Тарасова*

Смоленский институт экономики –
филиал Санкт-Петербургского университета
технологий управления и экономики

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-139-151>**E. Tarasova***

Smolensk Institute of Economics –
a branch of the St. Petersburg University of
Management Technologies and Economics

РЕФЕРАТ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ, СМОЛЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ, ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ КЛАСТЕР, ИНВЕСТИЦИИ, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИИ, РЕСУРСЫ, РЕГИОНАЛЬНАЯ ПОЛИТИКА

Несмотря на многочисленные заявления со стороны потенциальных инвесторов о нестабильной политической обстановке, непродуманной налоговой политике, политических и экономических рисках, наблюдается устойчивый интерес к инвестированию в отдельные отрасли экономики и регионы России.

Предметом научного исследования является анализ и прогнозирование инвестиционного потенциала Смоленской области. Целью научного исследования является оценка инвестиционного потенциала Смоленской области и разработка мероприятий по его повышению. Методологическую базу научного исследования составляют: аналитические методы, изучение и анализ имеющейся исследовательской базы творческое осмысление.

Теоретико-методологической базой исследования стали нормативно-правовые акты Российской Федерации, постановления и указы Администрации Смоленской области в сфере инвестиционной политики, а также данные статистической отчетности по развитию инвестиционной сферы в Смоленской области.

Практическая значимость научного исследования состоит в разработке проекта «Создание индустриального и логистического парка по заготовке, хранению и распределению сырья»

ABSTRACT

RUSSIAN FEDERATION, SMOLENSK REGION, INDUSTRIAL CLUSTER, INVESTMENTS, ECONOMIC DEVELOPMENT OF THE TERRITORY, RESOURCES, REGIONAL POLICY

Despite numerous statements from potential investors about the unstable political environment, poorly conceived tax policy, political and economic risks, there is a steady interest in investing in certain sectors of the economy and regions of Russia.

The subject of scientific research is the analysis and forecasting of the investment potential of the Smolensk region. The purpose of the scientific research is to develop and justify measures to increase the investment potential of the Smolensk region through the development of a cluster approach. The methodological basis of scientific research consists of analytical methods, study and analysis of the existing research base, creative understanding.

The theoretical and methodological basis of the study was the regulatory legal acts of the Russian Federation, resolutions and decrees of the Administration of the Smolensk region in the field of investment policy, as well as statistical reporting data on the development of the investment sector in the Smolensk region.

The practical significance of scientific research lies in the development of the project "Creation of an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials" as the basis for creating a timber cluster in the Smolensk region. It was determined that in the Smolensk region the Department of investment development of

* E-mail: Lenysia1981@yandex.ru (E. Tarasova)

как основы создания лесопромышленного кластера Смоленской области. Было выявлено, что в Смоленской области анализом и прогнозированием инвестиционного потенциала занимается Департамент инвестиционного развития Смоленской области, который является органом исполнительной власти Смоленской области, осуществляющим исполнительно-распорядительные функции в сфере инвестиционной деятельности, развития малого и среднего предпринимательства, развития международных, межрегиональных связей, связей с Республикой Беларусь в рамках Договора о создании Союзного государства от 08.12.99, регионального и приграничного сотрудничества и промышленности на территории Смоленской области. Смоленская область благодаря имеющимся ресурсам зарекомендовала себя как привлекательная территориальная площадка для привлечения инвестиций.

Региональные органы власти Смоленской области в целях привлечения инвестиций в регион используют разнообразные механизмы: правовой, организационно-экономический. Грамотная инвестиционная политика Смоленского региона позволила, несмотря на имеющиеся риски со стороны трудового, производственного, институционального компонентов инвестиционного потенциала, повысить инвестиционный рейтинг региона.

the Smolensk region is engaged in the analysis and forecasting of investment potential, which is an executive body of the Smolensk region that performs executive and administrative functions in the field of investment activities; the development of small and medium-sized businesses; the development of international, interregional relations, communications with the Republic of Belarus in the framework of the Treaty on the Establishment of the Union State of 08.12.1999; regional and border cooperation and industry on the territory of the Smolensk region. The Smolensk region, thanks to the available resources, has established itself as an attractive territorial platform for attracting investments.

Regional authorities of the Smolensk region in order to attract investment in the region use a variety of mechanisms: legal, organizational and economic. Despite the existing risks from the labor, production, institutional components of the investment potential, competent investment policy of the Smolensk region made it possible to increase the investment rating of the region.

INTRODUCTION

Much is said today about the need for investment in the economy of Russia and its individual regions [3]. The desire of many countries, including Russia, to attract both domestic and foreign investment underlines their decisive role in economic development. Despite numerous statements from potential investors about the unstable political environment, poorly conceived tax policy, political and economic risks, there is a steady interest in investing in certain sectors of the economy and regions of Russia [7].

Forecasting the investment potential at the regional level largely depends on how it correlates with the operation of the objective laws of the market, federal investment policy, as well as with the capabilities of a given region.

In other words, forecasting investment potential requires a variety of knowledge in the field of law, economics, banking, finance, accounting and statistics, as well as knowledge about specific investment companies, funds, banks, leasing and insurance companies, government bodies and other participants in the investment market, which is very important when writing scientific articles.

The relevance of the chosen topic of the article is mainly due to the fact that the solution of the problems of forecasting investment potential at the regional level is increasing in modern conditions and determines the need to create an effective mechanism for the formation of a promising investment policy through economic, regulatory, legal, financial, organizational, social and other influences from the authorities of

regional management [3].

The purpose of the study is to develop and justify measures to increase the investment potential of the Smolensk region.

To achieve this goal, the following tasks are solved in the study:

- to identify and structure the current advantages and disadvantages of the Smolensk region in terms of attracting investment to the region
- propose measures to increase the investment potential of the Smolensk region

The degree of development of the object of study. The analysis carried out in the course of the study showed the presence of a significant number of publications on general issues of forecasting the investment potential of the subjects of the Russian Federation.

In the study of problems of forecasting investment potential at the regional level, an important place belongs to such scientists as Oreshin V.P., Cherkasov G.I., Aleksashenko S., Bogatkova L., Gavrilin E., Razumova T., V.V. Bocharov, V.Yu. Katasonov, F.S. Tumusov, A.M. Margolin, A.Ya. Bystryakov, V.N. Myakshini and others.

In their studies many authors do not focus on the problems of finding sources of financing for investment projects; taking into account both the general economic features of the Smolensk region and the features of its infrastructural support, and therefore these developments are especially necessary on the scale of a particular region [4].

Many theoretical, methodological and methodological issues of investment potential research in general and in relation to the Smolensk region, in particular, have not been developed or insufficiently studied and require further scientific understanding and development. All of the above determined the relevance of the study, the theoretical and practical significance of the topic of the article. The development of the investment potential of the region follows the path of creating industrial parks; electronic map of infrastructure facilities; special economic zones; development of clusters and territories of advanced social and economic development.

The main backbone category of investment attractiveness of the region is its investment

potential. Analysis and assessment of the investment potential of the Smolensk region can be carried out according to the following components:

- natural resource potential

The Smolensk region in the modern sense was formed on September 27, 1937. Today it is part of the Central Federal District, including 25 municipal districts, 2 urban districts, 23 urban settlements, 183 rural settlements. The Smolensk region occupies an advantageous border position, bordering on five large developed regions of Russia (Pskov, Tver, Moscow, Kaluga, Bryansk) and the Republic of Belarus (Mogilev and Vitebsk regions). This location makes the region an important transport hub where the main export-import flows pass through from near and far European countries and the CIS countries.

The climate in the region is temperate continental, characterized by moderate temperatures during the summer and winter months. The sustainable development of the Smolensk region implies the effective interaction of nature and the economy, the efficient and rational use of the natural capital of the territory.

Large reserves of natural resources are concentrated in the region: brown coal, clay, sand and gravel materials, carbonate rocks for lime production, peat, sapropel, etc. The reserves of sulfate-calcium-magnesium mineral waters are discovered and widely used. The main share in the production structure (except for hydromineral raw materials) is sand and gravel materials (92.3 %). In terms of production of sand and gravel material, the region is one of the top Central Federal District of the Russian Federation (25 % of the total production in the district). The potential value of recoverable reserves and natural resources of minerals is 321.9 billion rubles.

The region is located in the zone of mixed forests (41 % of the territory), among which young stands and middle-aged stands predominate. The total area of forest fund lands is 2121.6 thousand hectares. The total stock of standing timber is 308.6 million cubic meters. The Smolensk region is also rich in water resources. The main river is the Dnieper. There are a large number of lakes of glacial origin on the territory of the region (the Kasplya, the Velisto, the Sapsho, etc.). The

reserves of water resources of the region exceed $14 \text{ km}^3/\text{year}$.

Thus, the Smolensk region is rich in water and mineral resources. Favorable geographical position, rather favorable climatic conditions determine the economic zoning and investment attractiveness of the region;

- labor potential

Today, unfortunately, there has been a negative trend in the population of the Smolensk region over the past three years. Thus, the total population decreased by 11.4 %. At the same time, the urban population amounted to 71.8% at the end of 2022, and the rural population – up to 28.2 %. A negative factor affecting the investment attractiveness of the region is also the low proportion of people younger than working age. This indicates low birth rates due to the difficult demographic situation in the region.

At the same time, the bulk of the able-bodied population as the main subject of the potential development of the Smolensk region is concentrated in large cities (Smolensk, Safonovo, Vyazma, Desnogorsk, Dorogobuzh, Gagarin, etc.). An analysis of the level of migration allows us to conclude that the increase in the number of arrivals in the region slightly exceeds the number of departed citizens. A positive migration increase has a positive impact on the demographic situation in the region.

In general, despite the presence of a stable and reliable labor potential in the region and the possession of all the necessary labor opportunities, there are significant risks in the future in this area due to a decrease in the number of young people and their migration to other regions. However, the demographic situation remains contradictory, there is a decline in the population. Most districts of the region are not attractive to the young population.

When planning measures to increase the investment attractiveness of the Smolensk region, it is necessary to take into account the intensive aging of the population; a downward trend in the number of people of working age due to a decrease in the birth rate and an increase in mortality; there is an opportunity to attract the necessary labor resources through internal and international migration, which is confirmed by a steady trend of

mechanical population growth;

- consumer potential

The consumer potential of the territory depends on the purchasing power of the population. It is a direct reflection of the social and economic processes taking place in society. Real disposable money incomes of the population of the Smolensk region over the past three years have tended to decrease despite the growth of the average monthly nominal wages. The population with cash incomes below the subsistence minimum tended to decrease in physical terms. The proportion of the population with incomes below the subsistence level in the entire population tends to decrease in absolute terms.

At the same time, in the Smolensk region, the problem of differentiation of the population by income level is very acute. The coefficient of funds also significantly exceeds the threshold value for all analyzed dates. This indicates the presence of a fairly strong threat to economic security in terms of this social indicator. In this case, the likelihood of social conflicts increases significantly. Therefore, in the National Security Strategy, this indicator is included in the group of the main threats to the quality of life of the population. The ratio of the average pension to the average wage has increased slightly during the period under review, but this indicator is still below the critical level. Conclusions can also be drawn about the level of well-being of citizens on the basis of an analysis of the indicator “the ratio of the average per capita cash income of the population to the subsistence minimum”. Over the past three years, this figure has been low.

The Smolensk region is characterized by average indicators of the financial well-being of the population, somewhat yielding to most of the regions bordering it. In terms of the purchasing power of the population (in relation to the per capita cash income to the subsistence minimum), the Smolensk region can also be attributed to the median group of regions.

- production potential

The investment attractiveness of the region is significantly influenced by the financial and economic indicators of its development. The GRP level of the Smolensk region tends to increase. At the same time, a significant increase in the

index of industrial production was observed. The volume of shipped goods of domestic production in the mining and manufacturing industries has increased. A negative trend was observed in the sphere of agricultural production, primarily due to a decrease in crop production. Retail trade turnover has also increased over the past three years.

In comparison with the Kaluga region, in the Smolensk region in 2022 there were more advanced rates of development of industrial production. But, despite this, the volume of shipped goods of domestic production, agricultural production, retail trade turnover is significantly lower than those in the Kaluga region.

In general, the Smolensk region is given a completely insignificant share in the indicators of the development of industrial production in the Russian Federation, which reduces the investment attractiveness of the region. The main share in the formation of the GRP of the Smolensk region falls on industrial production – about 30 % of its total volume. The second place is given to wholesale and retail trade, followed by "Transport and communications", "Construction", "Agriculture". Negative trends are observed not only in the agricultural sector of the region, but also in the construction sector. In general, the production potential of the Smolensk region is characterized by a pronounced commercial type of development in recent years. The share of manufacturing products is also high.

– financial potential

The basis of the financial potential of the territory is budgetary and tax relations. Data on changes in the structure of the regional budget of the Smolensk region in 2022 indicate that the total revenue amounted to 45.9 billion rubles, expenses – 47.5 billion rubles, and the deficit – 1.6 billion rubles. In 2022 budget revenues of the Smolensk region amounted to 0.4 % of the consolidated budgets of the constituent entities of the Russian Federation. The negative trend for the period under review is that the budget of the region became deficit, while a surplus was planned. The region is experiencing an increase in tax revenues, which indicates a developed tax policy. The financial policy in the region should be aimed at strengthening, developing and increasing the tax potential. Support for investment activities

contributes to the increase in the tax base. At the same time, "machinery, equipment, vehicles" prevail in the structure of investments in fixed assets by types of fixed assets. In the structure of investments in fixed assets by type of economic activity, "transportation and storage" institutional capacity prevails;

– innovative potential

Effective socio-economic development of the territory is impossible without innovation. The Smolensk region cannot be attributed to innovatively active regions, but rather to the regions of perception of the diffusion of innovations. The share of organizations engaged in innovative activities in the total number of organizations was only 4.6 % in 2022. The share of innovative goods, works, services in the total volume of shipped goods, works and services performed amounted to 2.2%. In the technological sphere, innovations accounted for 6.3 %, in marketing – 0.8%, organizational – 1.7 %. At the same time, the organizations of the Smolensk region use 1841 advanced production technologies. Thus, the largest number of innovative technologies is used in the field of communications and management.

– intellectual potential

The educational level of the region's population is an important factor in the economic and social development of society. The quality of labor resources largely depends on the level of education. The administrative center, the city of Smolensk, has the greatest intellectual potential, where the majority of secondary and higher educational institutions are concentrated.

An indicator that reflects the intellectual potential of the region is the level of enrollment of young people in educational programs of higher education. At the end of 2022 this indicator for young people aged 17–25 years was 4.22 %. A positive aspect is the stable level of staffing of educational institutions of higher education and even the improvement of its quality. In addition to the education sector, the scientific environment of the region should also be characterized. At the end of 2022, there were 24 organizations on the territory of the region engaged in scientific research and development, which employ 850 people. The volume of scientific and technical work performed in 2022 amounted to 2.5 billion rubles.

Thus, the intellectual potential of the region can be assessed as average.

– infrastructural potential

The infrastructural potential of the region is largely a consequence of its economic and geographical position. Infrastructural potential largely contributes to the unification of transport and logistics complexes; favors technological developments, improvement of communication services.

The Smolensk region has an advantageous geographical location, being a major transportation hub. In addition, the construction of one of the largest logistics centers in the city of Yartsevo has begun. At the beginning of September 2011, in Yartsevo, Smolensk region, a grand opening of a multimodal logistics commodity and transport distribution center took place on the basis of a temporary storage warehouse (TSW) of ROSTEK-West CJSC, which is part of the system of enterprises of ROSTEK FSUE.

– institutional capacity

The institutional potential is a characteristic of the development of the leading institutions of the market economy. The most important part of it is the business sector of the region's economy. In the period from 2020 to 2022, the number of enterprises and organizations in the region decreased by 332 units. The reduction was due to a decrease in the number of small businesses and micro-enterprises. This led to a reduction in the number of employees of small enterprises, at the same time, the number of employees of micro-enterprises slightly increased. The turnover of small enterprises and micro-enterprises increased during the period under review. In general, there is a negative trend in the development of entrepreneurship, which may subsequently have an adverse impact on the formation of the middle class in the Smolensk region and the employment opportunities of the population.

– tourism potential

As for the tourism potential, the Smolensk region has good tourist and recreational resources. The rich historical heritage makes the region suitable and interesting for the development of tourism, although it is given little attention to. The region has a large number of natural and architectural monuments. In their totality, the conditions and

opportunities of the Smolensk region can be used for entertainment, educational, recreational, sports and other purposes. At the same time, the development of tourism in the region is hampered by the following factors: insufficient development of the hotel industry; lack of investment in the industry; no branding policy.

The strategy for developing the investment attractiveness of the Smolensk region should be aimed at increasing the competitiveness of the territory, strengthening its economic security, improving the legislative framework, and forming the image of the territory. Creating a favorable investment climate in the region will help increase its investment attractiveness [7, 8].

One of the most significant trends in the context of economic activity has become the concept of the cluster approach. For the innovative development of the economy, it is necessary to be guided by the principles of the cluster approach for a number of reasons. This ensures the activation of foreign economic integration, allows cluster enterprises to significantly facilitate access to obtaining and exchanging modern technologies, special knowledge, etc [9].

Despite the increased attention of the Investment Development Department of the Smolensk Region to the issues of attracting investments into the region's economy, there are still many problems in managing this process. Thus, insufficient attention of the authorities to the problems of providing support to enterprises in the field of updating the material and technical base; there is no effective policy to attract young specialists and scientists to jobs in the region; insufficiently effective policy in the field of support for small businesses; insufficient attention to the use of all possible forms of development of the investment potential of the region.

Further development of clusters can contribute to the solution of these problems. The region has the necessary resources for the further formation of clusters, mainly in the industrial sector. The formation of clusters in the region will improve the socio-economic indicators of the territory, strengthen the investment potential of the Smolensk region and increase the competitiveness of its products at the national and international levels [8].

On the territory of the Smolensk region, mainly such industries as mining, manufacturing, electricity generation and water supply are represented.

As can be seen from Figure 1, a positive growth trend for 2022 was observed in the field of manufacturing and mining.

The dynamics of the volume of shipped goods of domestic production, work performed and services performed on its own by types of economic activity is shown in Figure 2.

As can be seen from Figure 2, the largest volume of shipped goods is observed in the manufacturing sector, where for the period under review, the increase amounted to 33,997.9 million rubles. or 20.8%.

One of the main directions of the socio-economic development of the region is the provision of conditions for the modernization of production, state support and the development of clusters that are competitive in market conditions.

A cluster is understood as a complex of interconnected sectors of the economy, which includes state administrative structures, the main industry, supplier companies and processing industries, as well as suppliers of high-tech equipment and technologies. The main criterion for identifying the fundamental industry of the cluster is its ability to produce competitive products.

Exploring the world experience and the sectoral structure of the Smolensk region, it should be noted that one of the main directions in the development of the region's economy can be the formation of a woodworking cluster, with the integration of small businesses into it [1].

To date, in the Smolensk region, there has been an increase in production indicators, demonstrating an increase in the efficiency of woodworking, which was largely due to the formed level of state support from the resources of the federal and regional budgets, as well as the attraction of large investors to the region, Igorevsky Particle Board

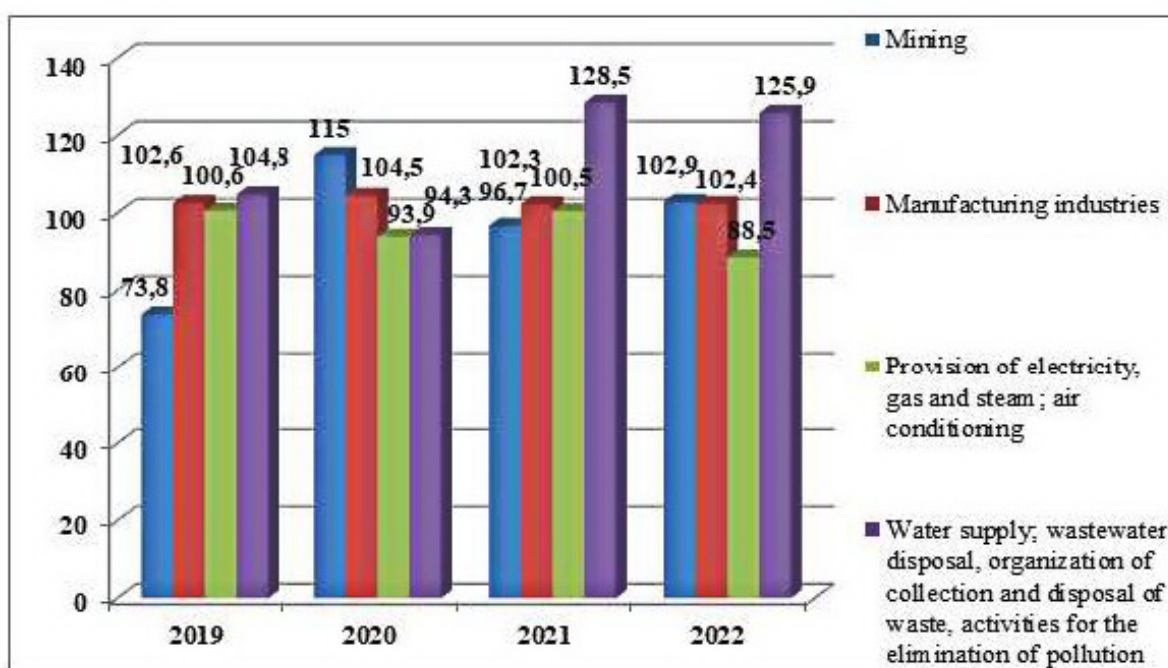


Figure 1 – Dynamics of industrial production indices by types of economic activity in the Smolensk region, 2019–2022 [2]

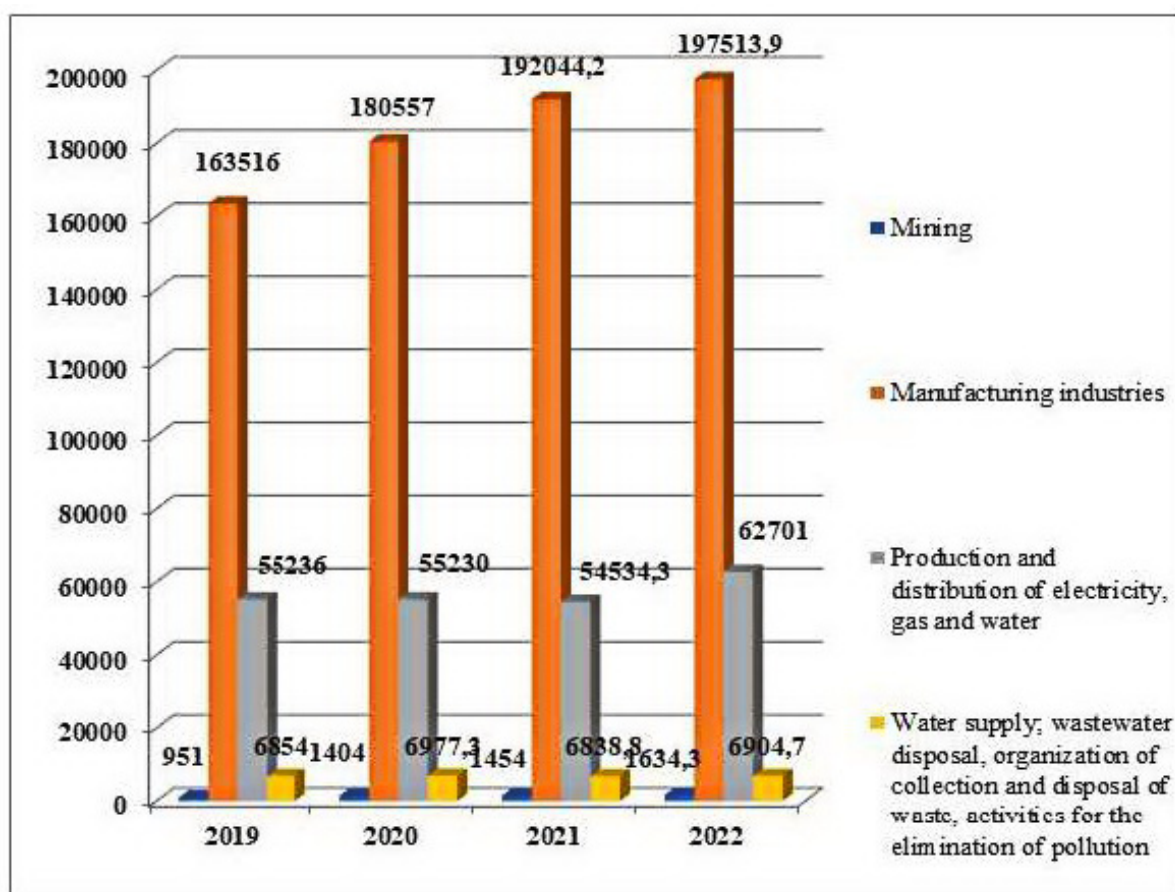


Figure 2 – Dynamics of the volume of shipped goods in the Smolensk region, million rubles, 2019–2022 [2]

Plant LLC and Egger Drevprodukt Gagarin LLC [5].

Today, the Smolensk region has high potential for the development of a cluster in the manufacturing sector, as it has a number of competitive advantages: an advantageous geographical position of the region, a developed transport network, a high supply of energy resources, and economic potential. Among the emerging clusters, one of the best options for integrating small businesses is the timber industry cluster, since in addition to the existing business, it is planned to implement 2 more large investment projects: Organization of production for wood processing and production of wood products Evrofangroup LLC (resident of Dorogobuzh TASED) (Dorogobuzh district). Project implementation period is 2019–2027. The total investment in

the project will amount to 705.2 million rubles (including investor's own funds and borrowed funds) [5].

Establishment of a full-cycle wood processing plant Pladonit LLC (Ugra-LesExport) (Ugransky district). Project implementation period is 2015–2025. The total investment in the project will amount to 270.0 million rubles [5].

The competitive advantage of this cluster is provided by a high share of domestic investment, in particular, in the woodworking industry. The adoption of a decision by regional authorities on the formation of a timber industry cluster will allow integrating all the competitive advantages of this industry into the production of a competitive product.

The expediency of developing the timber industry cluster is also proved by the significant reserves of natural resources in the region, which require rational and efficient use. The Smolensk region is located in the zone of mixed forests (aspen, birch, alder, spruce). The total area of forest fund lands in the region of the Russian Federation is 2121.5 thousand hectares, the forest covers 41 %, the total stock of standing timber is over 308 million cubic meters. The share of burnt areas in the total forest area is 0.05 %, the share of felling is 0.26 %. Significant areas are occupied by birch and wasp plantations, and therefore most of the forest area belongs to a low fire hazard class.

With rational forest management, the region can fully satisfy its needs for timber, develop woodworking, furniture and other industries. Currently, the forestry and woodworking industry of the Smolensk region includes the harvesting

and export of wood, the production of lumber, plywood, fibreboard, chipboard, and furniture.

There are two large enterprises in the region: Igorevsky Wood Chipboard Plant LLC and Egger Drevprodukt Gagarin LLC, as well as more than two hundred small enterprises that only harvest wood [2].

This once again speaks of the expediency of developing the cluster, since the issue of raw materials will be an acute issue when implementing new investment projects [4]. Intensive and proportional development of timber processing enterprises in the cluster will contribute to a beneficial effect on the state of the forest fund of the Smolensk region. The forest industry cluster being formed requires the implementation of a project to create an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials. The main problems of the timber

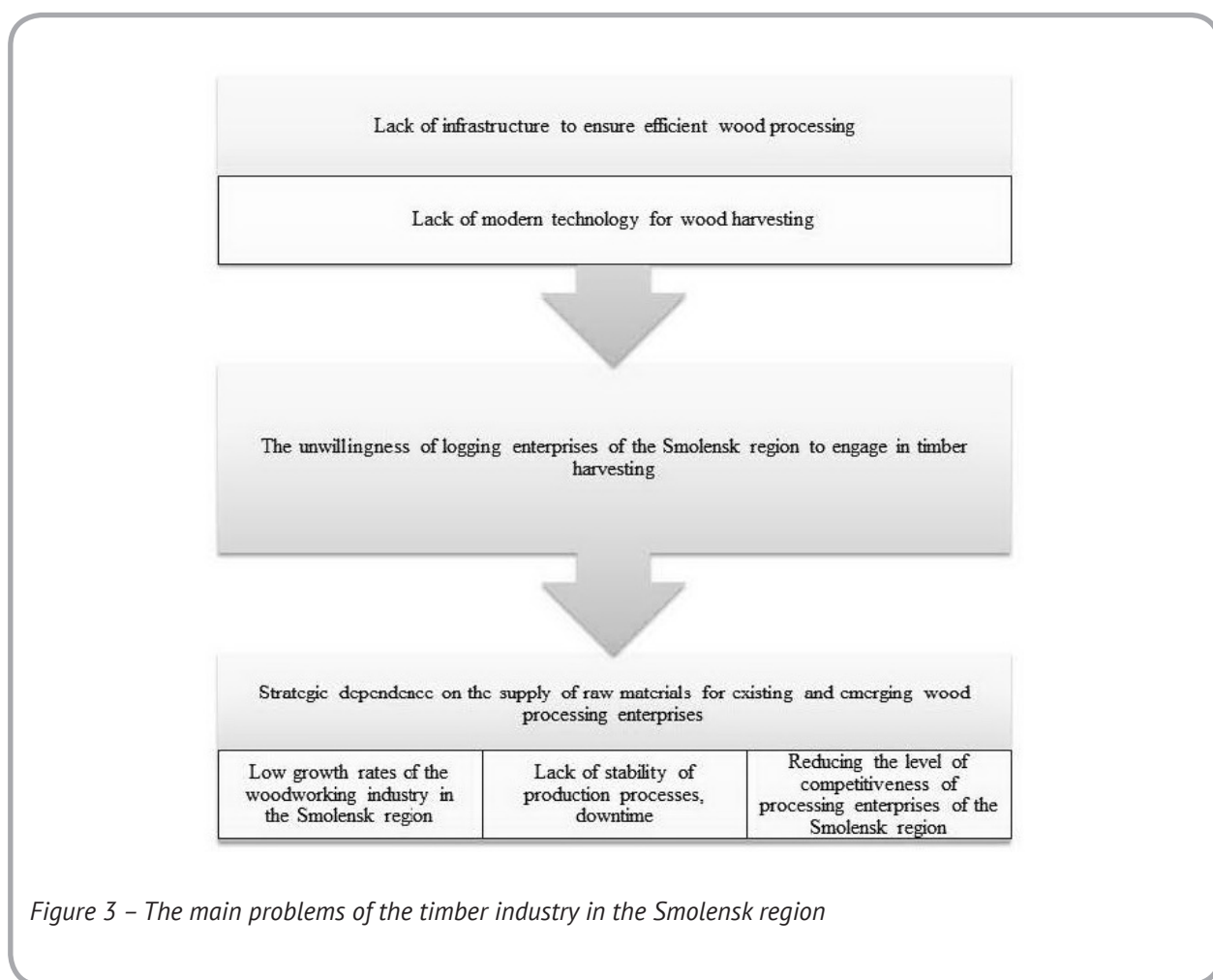


Figure 3 – The main problems of the timber industry in the Smolensk region

processing industry in the Smolensk region are shown in Figure 3.

Thus, the project "Creation of an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials" is proposed as the main measure for the formation of the timber industry cluster in the Smolensk region.

The prerequisite for the implementation of this project is that for the harvesting of high-quality wood, the timing of the work on harvesting and transporting timber is of great importance. The delay in the time frame of this process leads to the impossibility of exporting raw materials in the autumn-spring period and reducing its harvesting qualities.

At the moment, the key problem of small and medium-sized timber enterprises in the Smolensk region, which do not want to engage in timber harvesting, is the need for significant investments in equipment for its harvesting and transportation, since it requires significant investments. In addition, the insolvency of a large number of loggers has led to the fact that many enterprises on their own are not able not only to purchase new equipment, but also to repair and maintain the existing equipment in a timely manner.

For this reason, as the main proposal for the creation of a timber cluster in the Smolensk region, it is to create an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials.

In conditions when the authorities are not able to provide effective financial support to all sectors of the economy (especially such specific ones as timber processing), one of the main goals of stabilization and future growth is the creation and effective functioning of an industrial and logistics park for the harvesting, storage and distribution raw materials that can become a reliable partner in the procurement of wood raw materials on the territory of the Smolensk region. This direction of support from the state will cost several times cheaper than direct subsidies.

This form of support in the absence of specialized equipment from logging enterprises has already solved the problem of mechanization of the timber industry. The same situation is observed at enterprises of small and medium-sized forms of management in the territory of the

Smolensk region, engaged in logging, and there is practically no other available development option, since there is no way to provide financial allocations to all farms in need of machinery [7].

At the moment, in the market economy of the Russian Federation there are positive examples of creating an industrial and logistics park for the harvesting, storage and distribution of wood raw materials in the regions of Russia: Arkhangelsk, Leningrad, Krasnoyarsk Territory and a number of others. The name of the project is "Creation of an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials." The goal of the project is the formation of a timber industry cluster in the Smolensk region and attraction of investments in the development of the region's timber industry complex. The implementation of the project to create an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials in the Smolensk region will achieve the following objectives (Figure 4).

As can be seen from Figure 4, the implementation of this project will become a catalyst for the creation of a whole timber industry cluster and will bring the timber processing industry of the Smolensk region to a new level, including increasing its export potential.

The economic conditionality of this project is ensured by the fact that today the activity of investors in the timber processing industry of the Smolensk region is growing every year, so the volume of potential investments in the coming years in the processing industry is 2142 million rubles, while investments in logging are minimal, which creates an imbalance in the field of harvested raw materials and processed ones.

For the project to create an industrial and logistics park in the Smolensk region on a lease basis, it is planned to create a machine-technological station (MTS) with storage and loading sites for raw materials on the basis of an existing municipal budgetary institution.

To determine the geographic location of the industrial and logistics park planned for creation, consider the list of existing timber processing enterprises and those planned to be created.

It is advisable to create an industrial and logistics park in the "Vyazemsky district" municipality, the executor is the Department of

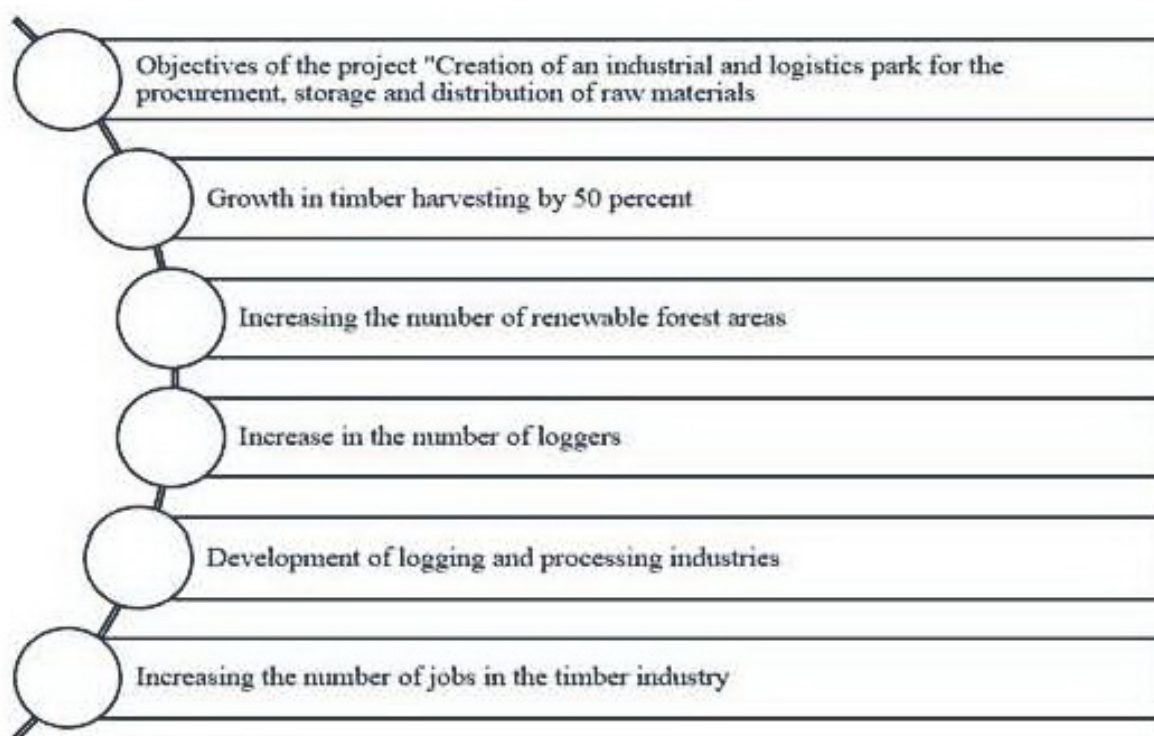


Figure 4 – The main objectives of the project "Creation of an industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials"

Housing and Communal Services, Transport and Road Facilities of the Vyazemsky District.

This department has a large territory of 20 hectares, railway lines, as well as an advantageous economic and geographical position, as it is located in close proximity to existing and planned to launch timber processing enterprises, proximity to the federal M-1 highway and proximity to the main logging arrays.

The coordinating institution will be the Department of the Smolensk region for the protection, control and regulation of the use of forestry, wildlife and their habitats.

The visually created management structure of the industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials will look like this (Figure 5).

Thus, the industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials will allow serving nearby areas, and the available production facilities (mechanized workshops) and personnel (drivers, car mechanics,

etc.) will allow timely repair of equipment, as well as its delivery and storage.

The expected start of the implementation of the industrial and logistics park project for the procurement, storage and distribution of raw materials is 04.01.2023. Planned project budget: 64 million rubles (₽). Project implementation period is 5 years, from 04.01.2023 to 03.30.2028. Funding source is the loan from the Smolensk Regional Fund for Entrepreneurship Support. Project initiator: Department of the Smolensk region for the protection, control and regulation of the use of forestry, wildlife and their habitats.

It is also planned to increase the number of personnel involved in the timber industry cluster by an average of 50-80 people, since the growth in logging will entail an increase in its processing, which will require the involvement of additional human resources.

Thus, the considered conditions for the created industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials in the

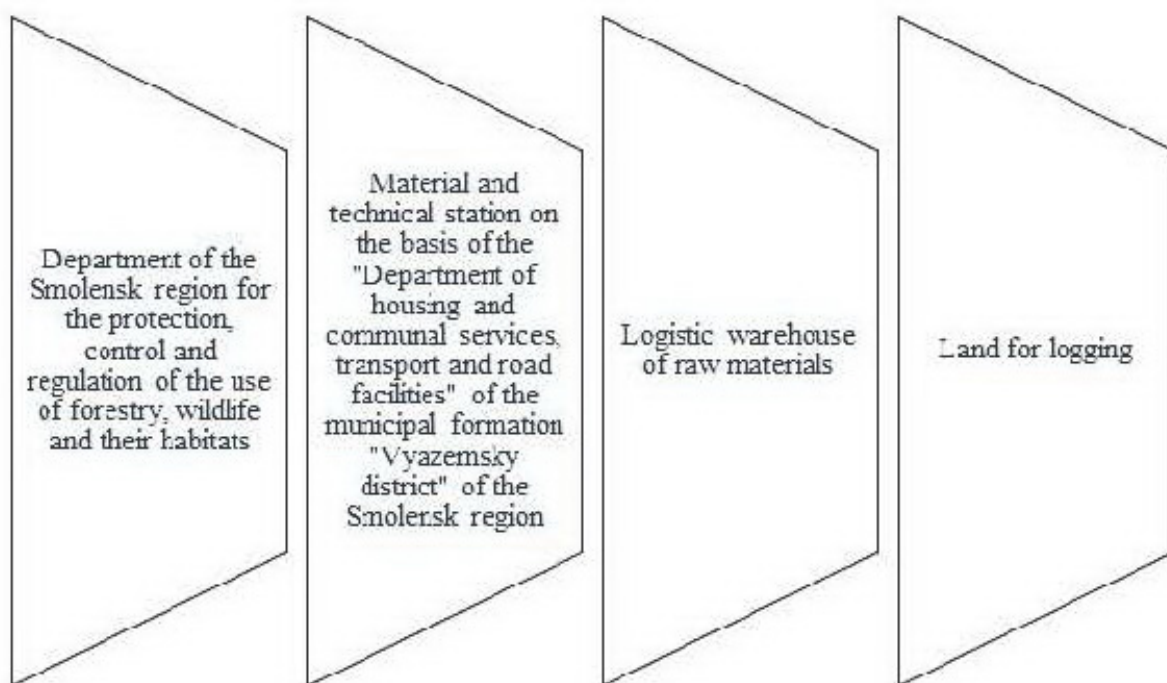


Figure 5 – The main elements of the management structure of the industrial and logistics park for the procurement, storage and distribution of raw materials

structure of the timber cluster in the area of the timber cluster have the right to be implemented based on the positive experience of the forest industry of the USSR and the modern market economy.

The mechanism for its implementation (the use of logistics) will significantly save budgetary resources and eliminate the misuse of attracted investments, as well as provide targeted assistance to needy small and medium-sized businesses in the Smolensk region [5].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гомелько, Т. В., Наркевич, Л. В., Смирнова, Г. А., Черненко, И. Ю. (2019), *Основные направления и перспективы развития Российской Федерации и Республики Беларусь в рамках интеграции процессов*, Смоленск, 229 с.
2. Тарасова, Е. В., Зюскин, А. А., Маркова, М. Ф., Кирилец, Н. Г., Гайдук, М. А., Переп, Т. В. (2021),

REFERENCES

1. Gomelko, T. V., Narkevich, L. V., Smirnova, G. A., Chernenkova, I. Yu. (2019), *Main directions and prospects for the development of the Russian Federation and the Republic of Belarus in the framework of the integration of processes*, Smolensk, 229 p.

Исследование условий создания благоприятного предпринимательского климата для субъектов среднего и малого бизнеса в Смоленской области: коллективная монография, Санкт-Петербург, 208 с.

3. Давыдова, Т. В. (2017), Проблемы управления региональными проектами, *Материалы VII Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы и перспективы развития социально-экономического потенциала российских регионов»*, Чебоксары, С. 296–301.
4. Gusarova, O. M., Lozhkina, S. L., Reger, T. V., Tarasova, E. V., Agapov, G. A. (2021), *Assessment of the ecological potential of the region using the method of regression analysis and the coefficient of elasticity for sustainable*, *Rivista di studi sulla sostenibilita*, 2021, № 1, pp. 111–131.
5. Агентство стратегических инициатив (2023), режим доступа: [http:// www.asi.ru/](http://www.asi.ru/), (дата доступа 02.03.2023).
6. Администрация Смоленской области (2023), режим доступа: <http://admin-smolensk.ru/>, (дата доступа 03.03.23).
7. Департамент инвестиционного развития Смоленской области (2023), режим доступа: [http:// dep.smolinvest.com/](http://dep.smolinvest.com/), (дата доступа 03.03.23).
8. Инвестиционный портал Смоленской области (2023), режим доступа: [http:// smolinvest.com/](http://smolinvest.com/), (дата доступа 03.03.23).
9. Яшева, Г. А., Николаева, Ю. Н., Кондратьева, В. Д. (2022), Кластерная политика в странах Европейского союза и Республике Беларусь: компаративный анализ, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2(43), С. 203.
2. Tarasova, E. V., Zyuskin, A. A., Markova, M. F., Kirilets, N. G., Gaiduk, M. A., Reger, T. V. (2021), *Research on the conditions for creating a favorable entrepreneurial climate for medium and small businesses in the Smolensk region: collective monograph*, St. Petersburg, 208 p.
3. Davydova, T. V. (2017), Problems of managing regional projects, *Proceedings of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference "Problems and Prospects for the Development of the Socio-Economic Potential of Russian Regions"*, Cheboksary, pp. 296–301.
4. Gusarova, O. M., Lozhkina, S. L., Reger, T. V., Tarasova, E. V., Agapov, G. A. (2021), *Assessment of the ecological potential of the region using the method of regression analysis and the coefficient of elasticity for sustainable development*, *Rivista di studi sulla sostenibilita*, 2021, № 1, pp. 111–131.
5. Agency for Strategic Initiatives (2023), available at: <http://www.asi.ru/>, (accessed on 02 March 2023).
6. Administration of the Smolensk region (2023), available at: <http://admin-smolensk.ru/>, (accessed on 03 March 2023).
7. Investment Development Department of the Smolensk Region (2023), available at: [http:// dep.smolinvest.com/](http://dep.smolinvest.com/), (accessed on 03 March 2023).
8. Investment portal of the Smolensk region (2023), available at: [http:// smolinvest.com/](http://smolinvest.com/), (accessed on 03 March 2023).
9. Yasheva, G. A., Nikolaev, Yu. N., Kondratiev, V. D. (2022), Cluster policy in the countries of the European Union and the Republic of Belarus: a comparative analysis, *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2(43), p. 203.

Статья поступила в редакцию 15. 05. 2023 г.

АНАЛИЗ РЕГИОНАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ В КНР С ПОМОЩЬЮ ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АВТОКОРРЕЛЯЦИИ

ANALYSIS OF REGIONAL DEVELOPMENT IN CHINA WITH THE TOOLS OF SPATIAL AUTOCORRELATION

УДК 91+51-7+332(510)

Чжан Фэйлун*

Белорусский государственный экономический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-152-160>

Zhang Feilong*

Belarus State Economic University

РЕФЕРАТ

РАЗВИТИЕ РЕГИОНОВ, УРБАНИЗАЦИЯ НОВОГО ТИПА, ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ, КИТАЙ

Цель работы – анализ пространственной взаимосвязи между уровнями экономического развития городов и других административных единиц окружного уровня КНР в период с 2001 по 2019 гг., а также изучение влияния политики урбанизации нового типа на региональное развитие в Китае.

Результаты исследования показывают, что в течение продолжительного времени экономический уровень восточных прибрежных городов/регионов Китая относительно высок, и существуют более тесные экономические связи между регионами, расположенными в регионе Большого залива, на западном берегу Тайваньского пролива, в дельте реки Янцзы, на полуострове Шаньдун и в центрально-южной провинции Ляони. Уровень экономического развития западных городов/регионов низкий, а пространственная связь в их экономическом развитии ослабевает, однако эта тенденция в последние годы становится менее явной.

Научная новизна результатов исследования заключается в определении пространственных характеристик регионального экономического размещения Китая, а также в выдвижении предложений по совершенствованию политики урбанизации нового типа.

ABSTRACT

REGIONAL DEVELOPMENT, NEW-TYPE URBANIZATION, SPATIAL RELATIONSHIP, CHINA

The purpose of this work is to analyze the spatial relationship of economic development levels between prefecture-level cities (including prefecture-level administrative regions) in China from 2001 to 2019, and to study the impact of new urbanization policies on regional economic development.

The results of the study show that, for a long time, the cities/regions along the eastern coast of China have a high level of economic development and close economic ties. They are located in: the Greater Bay Area, the Yangtze River Delta urban agglomeration, the Shandong Peninsula urban agglomeration, and the Central-South urban agglomeration in Liaoning Province. The level of economic development of western cities/regions is low, and the spatial relationship of economic development has weakened, but this trend has weakened in recent years.

The scientific novelty of the research results lies in clarifying the spatial characteristics of China's regional economic layout and putting forward policy recommendations for improving new-type urbanization.

* E-mail: zhangfeilong1991@gmail.com (Zhang Feilong)

ВВЕДЕНИЕ

В последние 40 лет города были главной движущей силой регионального роста в КНР, поэтому региональное экономическое развитие в Китае в некотором смысле можно рассматривать как отражение процесса урбанизации. В марте 2014 г. китайское правительство опубликовало «Национальный план урбанизации нового типа (2014–2020)» [1], который стал одной из политик, рассматриваемых в качестве важных составных частей государственной стратегии скоординированного развития, реализуемой с начала XXI столетия. К концу выполнения 13-го пятилетнего плана в 2020 г. уровень урбанизации в КНР, судя по данным Национального бюро статистики Китая [2], достиг 63,9 %, что по сравнению с началом века (2000 г.), когда значение этого показателя составляло всего 36,2 %, это свидетельствует о значительном достижении в реализации указанной выше политики. Цель проведения политики урбанизации нового типа состоит не просто в увеличении доли городского населения или размеров городов, а в создании благоприятных условий для устойчивого и интенсивного развития регионов [1].

С началом реализации 14-го пятилетнего плана политика урбанизации нового типа была продолжена и включена в план долгосрочных целей до 2035 года. Однако содержание данной политики было обновлено, и её место в общей системе планирования китайского государства было уточнено. Проведение политики урбанизации нового типа стало рассматриваться как важная гарантия сокращения разрыва в региональном развитии, как содействие региональному росту, рациональному размещению населения и реализации скоординированного регионального развития в Китае [3].

Целью данной статьи является анализ пространственной взаимосвязи между уровнями экономического развития городов и других административных единиц окружного уровня КНР с 2001 по 2019 гг., и на этой основе изучение влияния политики урбанизации нового типа на региональное развитие в Китае.

Для достижения этой цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- изучены возможности использования различных инструментов пространственной статисти-

стики при проведении анализа региональной экономики, в том числе использования инструмента пространственной автокорреляции;

- выполнен эмпирический анализ пространственной взаимосвязи показателя «Валовой региональный продукт» (ВРП) в расчете на душу населения в городах КНР на основе данных за период с 2001 по 2019 гг. и с использованием глобального и локального индексов Морана;

- по результатам эмпирического анализа рассмотрен вклад политики урбанизации нового типа в реализацию стратегии скоординированного регионального развития Китая.

В качестве объектов исследования взяты все административные единицы окружного уровня Китая (то есть 358 городов окружного значения, округов и др.).

Теоретико-методологические и методические основы исследования

Пространственная статистика стала активно применяться в картографии и геодезии благодаря появлению и постоянному совершенствованию ГИС технологий (ГИС – географическая информационная система). Сочетание инструментария пространственной статистики и ГИС в качестве важных средств исследования также часто используется в геологии, метеорологии, биологии, эпидемиологии и других областях [4]. Для изучения проблем региональной экономики пространственная статистика стала широко применяться с 1990-х годов [5], и к настоящему времени накоплен достаточно богатый арсенал программного обеспечения, специально предназначенного для проведения пространственного анализа. В числе наиболее популярных программных продуктов, предназначенных для решения подобных задач в пространственном анализе, обычно используются *ArcGIS*, *QGIS* и *GeoDa*.

Пространственная автокорреляция является одним из направлений в применении пространственной статистики, пространственно-эконометрического подхода в самых разных исследованиях. Её используют для выявления и измерения степени, интенсивности кластеризации (или дисперсии), силы взаимного влияния различных объектов в пространстве (в нашем случае – городов, регионов), основываясь на тех или иных количественных показателях. Тем

самым в определенной степени восполняется недостаток в изучении этих объектов методами традиционной статистики.

Первый закон географии в определении известного американского исследователя швейцарского происхождения Уолдо Р. Тоблера гласит: «Всё связано со всем остальным, но близкие вещи более связаны, чем далёкие» [6]. Основываясь на данном законе, при рассмотрении региональных экономических проблем, необходимо также учитывать, что экономическая деятельность в регионах, городах и других социально-экономических системах, также связана, а не изолирована в пространственном аспекте, и эта пространственная связь ослабевает с увеличением удаленности регионов, городов друг от друга.

В качестве конкретных индикаторов пространственной автокорреляции в различных исследованиях обычно используются индекс Морана (Moran's I), коэффициент Гири (Geary's C), показатель Гетиса – Орда (Getis-Ord Gi*) и др. Однако из-за различий в методах расчета, диапазонах значений и использовании пространственных весов эти индикаторы имеют определенные ограничения в практическом применении. Принимая во внимание цель данного исследования, заключающуюся в одновременном рассмотрении глобальной автокорреляции и локальной автокорреляции при изучении регионального развития, автор этой статьи остановился на использовании индексов Морана, а конкретно, глобальный индекс, применяемый для обоснования суждения о том, существует ли пространственная взаимосвязь регионов в целом или нет. То есть расчёт глобального индекса Морана позволяет однозначно ответить на вопрос: «да» или «нет». Если «да», локальный индекс Морана дополнительно указывает на то, где эти регионы находятся, т. е. он отвечает на вопрос «где». Кроме того, локальный индекс Морана позволяет ещё определить характеристики автокорреляции (положительная/отрицательная) и их количественные значения.

Эмпирическое исследование регионального развития в Китае

ВРП в расчете на душу населения часто используется как один из макропоказателей для оценки уровня регионального экономического

развития. В целях обеспечения непрерывности и полноты сбора данных за весь исследуемый период с 2001 по 2019 гг. в качестве показателя для анализа пространственной статистики автор выбрал ВРП на душу населения всех административных единиц окружного уровня Китая (358 городов окружного значения, округов и других единиц). Географические данные о местоположении исследуемых в данной публикации объектов, были получены с сайта Национального центра базовой географической информации [7]; а экономические данные – из статистического ежегодника городов Китая [8]. Глобальный индекс Морана вычисляется по формуле [9; 10]:

$$I = \frac{n}{S_0} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где x_i – ВРП на душу населения в городе/регионе i ; x_j – ВРП на душу населения в городе/регионе j ; $\bar{x}$ – среднее значение во всех городах/регионах; n – общее количество городов/регионов в Китае (в данной работе $n = 358$); S_0 – совокупность всех пространственных весов, $S_0 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}$; ω_{ij} – пространственный вес между городами/регионами i и j .

В общем случае значение глобального индекса Морана ограничено интервалом от -1 до 1, когда Z-оценка или P-значение указывают на статистическую значимость (то есть $P < 0,05$ или $|Z| > 1,96$) [10].

При $I > E(I)$ имеется положительная пространственная автокорреляция, которая свидетельствует о тенденции к кластеризации; при $I < E(I)$ имеется отрицательная пространственная автокорреляция, свидетельствующая о наличии тенденции к дисперсному распределению; при $I = E(I)$ связи между значениями показателя на соседних территориях нет, они случайны. $E(I)$ – это ожидаемое значения индекса Морана, $E(I) = -1/(n-1)$, для выборки из 358 городов/регионов в данной работе $E(I) \approx 0$.

После завершения всех подготовительных работ вычисления по формуле (1) были выполнены с помощью программы GeoDa. Результаты расчётов представлены в таблице 1. С 2001 по 2019 год глобальный индекс Морана, рассчитанный на основе показателя ВРП на душу на-

селения в 358 городах, колебался в пределах от 0,362 до 0,428. Это показывает, что в целом уровни экономического развития городов Китая имеют зависимость в пространстве, демонстрируя положительную автокорреляцию, и результаты значительны.

Для получения более полной характеристики того, экономическое развитие каких городов и других административных единиц окружного уровня имеет значительную пространственную зависимость, необходимо использовать локальный индекс Морана [11; 12], который рассчитывается по следующей формуле:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{S_i^2} \sum_{j=1, j \neq i}^n \omega_{ij}(x_j - \bar{x}), \quad (2)$$

где $S_i^2 = 1/n \sum_{j=1, j \neq i}^n (x_j - \bar{x})^2$, обозначения остальных математических символов те же, что и в формуле (1).

Воспользуемся снова программой GeoDa для расчёта значений локального индекса Морана по городам и другим административным единицам окружного уровня КНР с 2001 по 2019 год. Кроме того, с целью обеспечения более наглядной графической интерпретации полученных результатов используем программный продукт QGIS для создания полученных данных картограмм кластеров экономики городов и регио-

нов КНР. Данные, представленные на рисунке 1, свидетельствуют о том, что в 2001, 2005, 2010 и 2019 гг. наблюдались существенные изменения в уровне и динамике экономического развития по городам и другим административным единицам окружного уровня Китая. Города/регионы со значимыми результатами теста пространственной автокорреляции на основе показателя ВРП на душу населения могут быть разбиты на следующие четыре группы административных единиц или типы кластеров:

1. Высокий-Высокий (квадрант HH) – в этом типе кластеров города и другие административные единицы окружного уровня имеют высокий уровень экономического развития, расположены в окружении единиц, которые также имеют высокий уровень экономического развития. Пространственная автокорреляция в этом типе кластеров наблюдается положительная.

2. Низкий-Низкий (квадрант LL) – административные единицы в нём имеют низкий уровень экономического развития, окружены городами/регионами также с низким уровнем экономического развития. Здесь также зарегистрирована положительная пространственная автокорреляция.

3. Низкий-Высокий (квадрант LH) – города и другие административные единицы в нём имеют низкий уровень экономического развития, но окружены городами с высоким уровнем эконо-

Таблица 1 – Значения одномерного глобального индекса Морана в 2001–2019 гг.

Год	Moran'I	P-значение	Z-оценка	Год	Moran'I	P-значение	Z-оценка
2001 г.	0,362	0,001	10,566	2011 г.	0,378	0,001	11,122
2002 г.	0,382	0,001	10,986	2012 г.	0,374	0,001	11,078
2003 г.	0,428	0,001	12,288	2013 г.	0,389	0,001	11,328
2004 г.	0,426	0,001	12,228	2014 г.	0,375	0,001	11,042
2005 г.	0,374	0,001	10,887	2015 г.	0,415	0,001	12,225
2006 г.	0,393	0,001	11,383	2016 г.	0,399	0,001	11,938
2007 г.	0,410	0,001	11,780	2017 г.	0,393	0,001	11,590
2008 г.	0,407	0,001	11,761	2018 г.	0,408	0,001	11,919
2009 г.	0,419	0,001	12,209	2019 г.	0,409	0,001	11,882
2010 г.	0,398	0,001	11,631				

Источник: рассчитано автором.

мического развития. Пространственная автокорреляция здесь отрицательная.

4. Высокий-Низкий (квадрант HL) – в нём административные единицы имеют высокий уровень экономического развития, но окружены городами с низким уровнем экономического развития. Пространственная автокорреляция здесь отрицательная.

В 2001 г. насчитывалось 89 городов/регионов со значительной локальной пространственной автокорреляцией, из которых 26 административных единиц расположилось в квадранте HH, что составило 29,2 %. 51 единица находилась в квадранте LL, что составило 57,3 % от их общего количества. 5 городов оказалось в квадранте LH (5,6 %). 7 городов вошло в квадрант

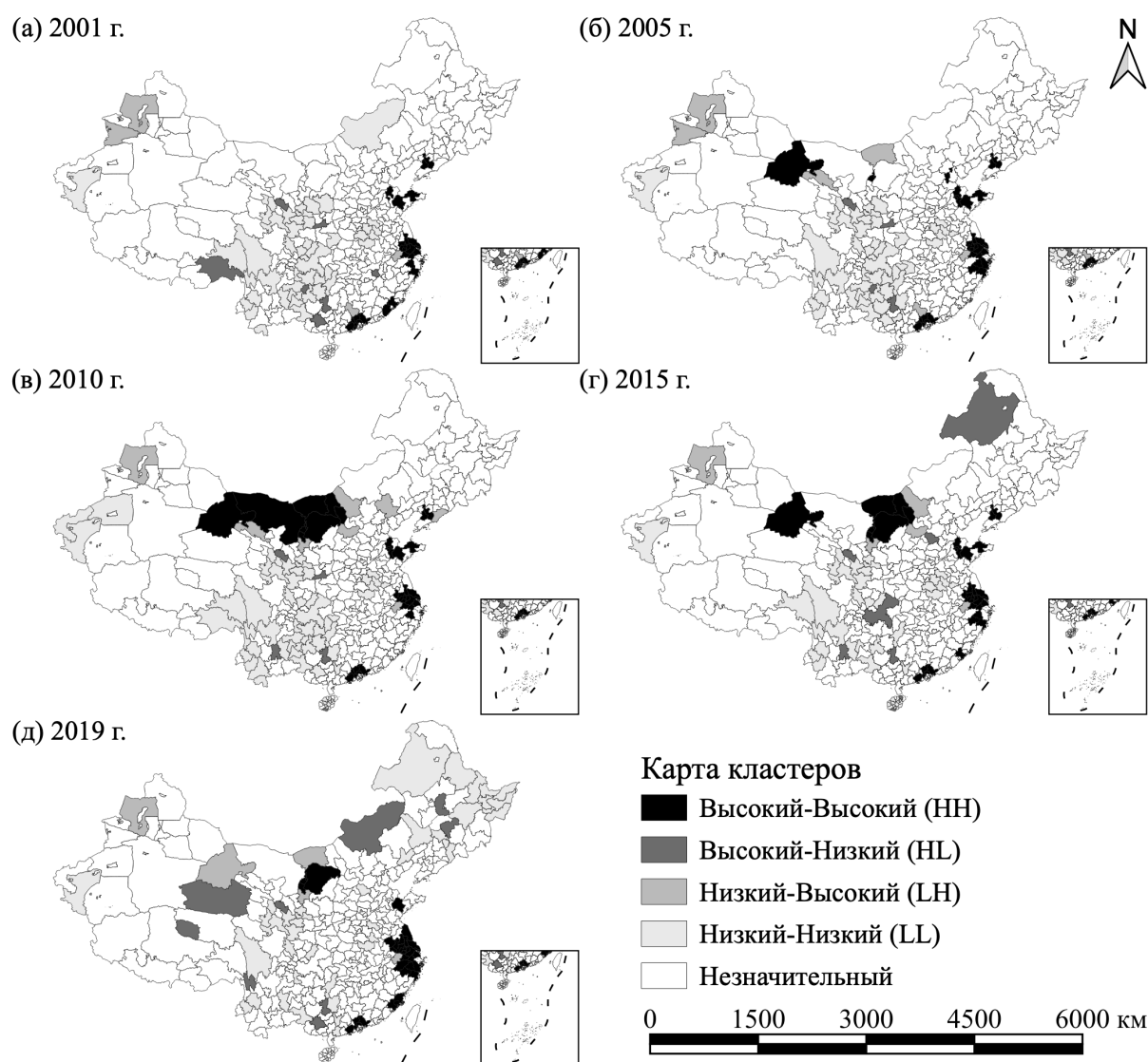


Рисунок 1 – Карта кластеров экономики с использованием локального индекса Морана (LISA)

Источник: разработка автора.

НЛ, что составило 7,9 % от общего количества исследуемых административных единиц. Более развитые города оказались расположены в регионе Большого залива (г. Гуанчжоу, Чжухай, Фошань), на западном берегу Тайваньского пролива (г. Цюаньчжоу, Чжанчжоу), в дельте реки Янцзы (г. Шанхай, Сучжоу, Наньтун, Уси, Цзясин), полуостров Шаньдун (г. Яньтай, Вэйфан, Биньчжоу), центрально-южный провинции Ляони (г. Аньшань, Инкоу). В 2019 г. по сравнению с 2001 г. количество городов и других административных единиц окружного уровня со значительной локальной пространственной автокорреляцией уменьшилось до 87, и в то же время количество единиц, расположившихся в квадранте НН, увеличилось до 33, что составляло 37,9 % от их общего количества. Число городов/регионов, располагавшихся в квадранте LL, уменьшилось до 41 (47,1 %).

Более подробные данные об основных изменениях в количественном составе каждой их групп и соответствующих тенденциях представлены в таблице 2, и их можно прокомментировать следующим образом:

1. В процессе экономического развития западного Китая в исследуемом периоде продолжала просматриваться, судя по ряду показателей, ранее наметившаяся тенденция к улучшению положения. Количество экономически слаборазвитых городов и других административных единиц окружного уровня в западном регионе Китая (особенно на юго-западе страны) резко сократилось. Локальный индекс Морана показывает, что в 2001 г. только 6 городов в западном Китае относились к развитым горо-

дам, а именно: Сиань, Ланьчжоу, Гуйян, Наньнин, Ньинчи и Лючжоу. Остальные 35 западных городов рассматривались как экономически отсталые. Они находились в квадранте LL, то есть в той группе, где административные единицы имели низкий уровень экономического развития и были также окружены единицами с низким уровнем экономического развития. Однако к 2019 г. уровень экономического развития в западном Китае улучшился. Количество городов в квадранте LL снизилось до 18; а в квадранте НЛ дополнительно появились округ Хайси, округ Дицин, город Силян-Гол; квадрант НН дополнили города Ордос, Ухай, Шицзуйшань и Иньчуань. Следует признать, что указанные выше позитивные изменения были во многом связаны с той серией специальных политик, которые китайское государство стало проводить в западных городах Китая с начала XXI в.

2. Количество городов с более высоким ВРП на душу населения в дельте реки Янцзы в исследуемом периоде увеличивалось, в центрально-южном районе Ляонине и на полуострове Шаньдун – сокращалось. В городской агломерации на западном побережье Тайваньского пролива и в регионе Большого залива Гуандун–Гонконг–Макао наблюдались относительно незначительные изменения количества городов с более высоким ВРП на душу населения. Стоит отметить, что более высокий уровень экономического развития в городской агломерации, находящейся в дельте реки Янцзы, сохранялся с 1990-х годов. Кроме того, с начала периода реализации политики урбанизации нового типа (после 2014 г.) и во многом именно благодаря ей количество раз-

Таблица 2 – Статистика распределения количества городов и других административных единиц окружного уровня Китая с относительно высокими значениями локального индекса Морана

Количество единиц	2001 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.
В квадранте НН	26	30	33	34	33
В квадранте LL	51	54	59	46	41
В квадранте LH	5	6	8	5	5
В квадранте НЛ	7	5	5	8	8
Итого	89	95	105	93	87

Источник: рассчитано автором.

витых городов, расположенных в этой дельте, постоянно увеличивалось. Эти города оказались в числе объектов приоритетной поддержки со стороны китайского государства в форме предоставления прямых инвестиций преференциального налогообложения и аренды земельных участков и др.

3. В экономическом развитии на северо-востоке страны в анализируемом периоде просматривалась тенденция к спаду. В числе административных единиц с относительно высоким ВРП на душу населения в 2019 г. оказалось только два города: Дацин (13647 долл. США) и Чанчунь (11356 долл. США)¹. ВРП на душу населения в других соседних городах оказался на очень низком уровне. Следует отметить тот факт, что с начала XXI в. экономическое развитие северо-восточного Китая замедлилось, и население в этой части страны резко сократилось. Эффективность политики урбанизации нового типа в отношении экономики регионов, находящихся на северо-востоке страны, не столь очевидна, как в отношении регионов, расположенных в других частях Китая, хотя данная политика реализуется на протяжении достаточно длительного времени.

ВЫВОДЫ

Приведенные выше результаты анализа дают достаточно весомые основания для вывода о том, что проводимая политика урбанизации нового типа, возможно подходит для поддержки развития далеко не всех регионов Китая. Автор считает, что политика урбанизации должна учитывать как объективные закономерности регионального экономического развития, так и местные особенности. При реализации государственной политики местные органы власти должны адаптироваться к местным условиям, исходя из особых характеристик развития соответствующего региона. В рамках такого подхода автор рекомендует реализовать следующие мероприятия:

- местным органам власти административных единиц, находящихся в западной части Китая, целесообразно перенести акцент на поддержку развития современного производства и

современной сферы услуг. Поскольку основным противоречием в западном регионе в настоящее время является низкий уровень урбанизации, актуальной задачей для этой части страны является содействие осуществлению процесса урбанизации более высокими темпами. Опыт развития некоторых западных городов Китая за последние 20 лет показывает, что одним из наиболее действенных факторов обеспечения роста урбанизации в этот период стало ускоренное развитие промышленности. В числе позитивных примеров такого развития можно привести опыт формирования комплекса основных отраслей экономики города Ордоса, который включает: угольную промышленность, основанную на современных «чистых» технологиях добычи и переработки сырья, «тонкую» химическую промышленность, производство шерстяных тканей, добычу и переработку природного газа, сланцевой нефти, производство стройматериалов, а также майнинг биткоинов и операции с криптовалютой.

В качестве другого успешного примера можно привести опыт создания цепи (пояса) из предприятий фотоэлектрической промышленности, сконцентрированной на западе Китая и расположенной в 12 городах: Сиань (в провинции Шэньси); Синин, Голмуд, Делинга (в провинции Цинхай); Увэй, Цзиньчан, Чжанье, Дунхуан, Аксай, Цзяюйгуань (в провинции Ганьсу); Хами, Урумчи (в Синьцзяне). Соответствующие инвестиционные проекты были реализованы совместно центральным и местным правительством в рамках политики «Национальный план урбанизации нового типа (2014–2020)», что позволило создать большое количество рабочих мест в западном регионе и способствовало ускоренному экономическому развитию этой части Китая;

- в отличие от западного региона, в восточной части Китая сложились более развитая транспортная инфраструктура и более тесные экономические связи между городами, что способствует формированию городских агломераций и промышленных кластеров. Поэтому политику урбанизации в восточном регионе целесообразно сориентировать на ускоренное формирование

¹Средний обменный курс в 2019 году: 1 USD = 6,909 CNY [13].

таких агломераций. Центральное правительство Китая предложило различные региональные стратегии для развития различных типов городских агломераций, реализация которых позволяет обеспечить углубление сотрудничества и разделения труда между регионами, избегая при этом жесткой конкуренции между административными единицами. Например, в рамках политики «Национальный план урбанизации нового типа», в городской агломерации Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй планируется сформировать имидж политического и культурного центра Китая. Дельта реки Янцзы позиционируется как финансовый центр страны. Регион Большого залива Гуандун–Гонконг–Макао рассматривается в перспективе как крупнейший центр внешней торговли Китая. Следует отметить, что политика урбанизации нового типа является важной гарантией обеспечения скоординированного развития в восточном Китае. Государству по-

требуется разработать новую модель, в которой центральные города управляют городскими агломерациями, чтобы стимулировать скоординированное развитие регионов. Например, Пекин и Тяньцзинь в качестве центра уже сейчас возглавляют развитие городской агломерации Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй и управляют скоординированным развитием региона Бохай Рим. Шанхай рассматривается в качестве центра, обеспечивающего развитие городской агломерации, формирующейся в дельте реки Янцзы, и в роли движущей силы развития всего экономического пояса реки Янцзы. Гонконг, Макао, Гуанчжоу и Шэньчжэнь в качестве ведущих центров возглавили работу по укреплению экономических связей внутри региона Большого залива и обеспечивают реализацию курса на инновационное и экологоориентированное развитие экономического пояса Жемчужная река–Сицзян река.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Xinhua News Agency (2014), *National New Urbanization Plan (2014–2020)*, available at: http://www.gov.cn/zhengce/2014-03/16/content_2640075.htm (accessed 12 September 2021).
2. National Bureau of Statistics of China (2022), *Population. Basic Statistics. National Population Census*, available at: <https://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01> (accessed 3 November 2022).
3. National Development and Reform Commission of the People's Republic of China (2022), *"14th Five-Year Plan" New Urbanization Implementation Plan*, available at: https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/202207/t20220728_1332050.html (accessed 4 October 2022).
4. Fischer, M. M. (2006), *Spatial Analysis and GeoComputation: Selected Essays*, Berlin, Springer, 336 p.

REFERENCES

1. Xinhua News Agency (2014), *National New Urbanization Plan (2014–2020)*, available at: http://www.gov.cn/zhengce/2014-03/16/content_2640075.htm (accessed 12 September 2021).
2. National Bureau of Statistics of China (2022), *Population. Basic Statistics. National Population Census*, available at: <https://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=C01> (accessed 3 November 2022).
3. National Development and Reform Commission of the People's Republic of China (2022), *"14th Five-Year Plan" New Urbanization Implementation Plan*, available at: https://www.ndrc.gov.cn/fggz/fzzlgh/gjjzxgh/202207/t20220728_1332050.html (accessed 4 October 2022).
4. Fischer, M. M. (2006), *Spatial Analysis and GeoComputation: Selected Essays*, Berlin, Springer, 336 p.

5. Yang Zhenshan, Cai Jianming (2010), Progress of Spatial Statistics and Its Application in Economic Geography, *Progress in Geography*, 2010, № 29(6), pp. 757–768.
6. Tobler, W. R. (1970), A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 1970, V. 46, pp. 17–23.
7. National Basic Geographic Information Center (2021), available at: <https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W> (accessed 1 July 2021).
8. China City Statistical Yearbook (2021) available at: <https://www.yearbookchina.com/navibooklist-n3022050505-1.html> (accessed 3 November 2022).
9. Moran, P. A. P. (1950), Notes on Continuous Stochastic Phenomena, *Biometrika*, 1950, № 1/2, V. 37, pp. 17–23.
10. Как работает инструмент «Пространственная автокорреляция «Глобальный индекс Морана I», режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm>, (дата обращения: 01.07.2021).
11. Anselin, L. (1995), The Local Indicators of Spatial Association-LISA, *Geographical Analysis*, 1995, № 27, pp. 93–115.
12. Как работает анализ кластеров и выбросов «Anselin Локальный индекс Морана I», режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm>, (дата обращения: 01.07.2021).
13. Exchange Rates UK. US Dollar to Chinese Yuan Spot Exchange Rates for 2020, available at: <https://www.exchangerates.org.uk/USD-CNY-spot-exchange-rates-history-2019.html> (accessed 3 November 2022).
5. Yang Zhenshan, Cai Jianming (2010), Progress of Spatial Statistics and Its Application in Economic Geography, *Progress in Geography*, 2010, № 29(6), pp. 757–768.
6. Tobler, W. R. (1970), A computer movie simulating urban growth in the Detroit region, *Economic Geography*, 1970, V. 46, pp. 17–23.
7. National Basic Geographic Information Center (2021), available at: <https://www.webmap.cn/commres.do?method=result100W> (accessed 1 July 2021).
8. China City Statistical Yearbook (2021) available at: <https://www.yearbookchina.com/navibooklist-n3022050505-1.html> (accessed 3 November 2022).
9. Moran, P. A. (1950), Notes on Continuous Stochastic Phenomena, *Biometrika*, 1950, № 1/2, V. 37, pp. 17–23.
10. How Spatial Autocorrelation "Global Moran's I" works, available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-spatial-autocorrelation-moran-s-i-spatial-st.htm> (accessed 1 July 2021).
11. Anselin, L. (1995), The Local Indicators of Spatial Association-LISA, *Geographical Analysis*, 1995, № 27, pp. 93–115.
12. How Cluster and Outlier Analysis (Anselin Local Moran's I) works, available at: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-cluster-and-outlier-analysis-anselin-local-m.htm> (accessed 1 July 2021).
13. Exchange Rates UK. US Dollar to Chinese Yuan Spot Exchange Rates for 2020, available at: <https://www.exchangerates.org.uk/USD-CNY-spot-exchange-rates-history-2019.html> (accessed 3 November 2022).

Статья поступила в редакцию 05. 04. 2023 г.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННЫХ АУДИТОВ И ОТВЕТНЫЕ МЕРЫ КИТАЯ

FOREIGN EXPERIENCES OF GOVERNMENT AUDITS AND CHINA'S RESPONSE

УДК 351.9

Юэлун Чжан*

Институт бизнеса

Белорусского государственного университета

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-161-170>**Yuelong Zhang***

School of Business

of Belarusian State University

РЕФЕРАТ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АУДИТ, АУДИТ ЭФФЕКТИВНОСТИ, ВНЕШНИЙ АУДИТ, СИСТЕМА ГОСУДАРСТВЕННОГО АУДИТА

В данной статье рассматриваются проблемы проведения правительственных аудитов, которые включают проверку самой администрации (правительственных программ). В последние годы возрос спрос на аудит эффективности. Также авторами анализируется зарубежный опыт проведения государственных аудитов. Цель статьи – провести сравнительный анализ систем правительственного аудита, применяемых в Китае, с зарубежными системами, внедренными в некоторых западных странах и США.

В результате анализа будет построена теория внешнего аудита. Данный анализ основан на информации Министерства финансов и Национальной статистики Китайской Народной Республики.

ABSTRACT

GOVERNMENT AUDITS, PERFORMANCE AUDIT, EXTERNAL AUDITING, GOVERNMENT AUDITING SYSTEM

This article discusses the problems of conducting government audits, which include checking the administration itself (government programs). The demand for performance auditing has increased in recent years. This article describes foreign experience in conducting state audits. The purpose of the article is to conduct a comparative analysis of government audit systems used in China with foreign systems implemented in some Western countries and the United States.

As a result, a theory of external audit will be built. This analysis is based on information from the Ministry of Finance and National Statistics of China.

Introduction

In recent years, external audits of government departments and agencies in China have increased in response to citizen criticism of issues related to public accountability, such as misuse of public funds, evaluation of the effectiveness and results of government programmes, disclosure of information based on the "right to know," and the requirement to disclose government financial data through balance sheets. We must strengthen public accounting and auditing to face these challenges. As the final step in establishing public accountability, public audits must include a system

of government audits conducted by supreme audit institutions, sometimes known as national audits (thus hereinafter "government audits"). Government audits are included in the external audit systems of Western Europe and the United States. Audits of the government include financial, performance, and cost-effectiveness audits. This study examines performance audits, which evaluate the government programs.

Literature Review

In the past few decades, performance auditing has undergone tremendous change, gaining great interest from academics and practitioners in terms

* E-mail: bsuzhang@gmail.com (Yuelong Zhang)

of its development, evolution, transformation, and outcomes in many worldwide contexts.

In contrast to the international literature on government audits, which is more concerned with central government audits, Hetherly and Parker (1988) compared the Australian Audit Office, the Victorian Auditor-General's office and the South Australian Auditor-General's department in terms of the content, format and feedback from auditees. Compared the Australian Audit Office, the Victorian Auditor-General's office and the South Australian Auditor-General's department in terms of the content and format of audit reports and feedback from auditees, discussing the results and impact of government audits [1]. In addition, Johnsen (2001) selected a number of performance audits of municipal and county local governments in two Nordic countries, Norway and Finland, for a comparative study that sought to reveal the state of performance auditing in local governments, including the use of audit methods in government audits [2]. The authors argue that, despite some problems with the quality of performance audit reports, performance audits are still a tool for improving urban management, an important and effective control tool in public sector reform, and do not negatively affect traditional financial audits.

In terms of domestic normative research on the international comparison of government performance auditing, Shen Yi and Shen Hongbo (2002) introduced the current situation of government performance auditing in the United States and Canada, and compared four aspects: the emergence and development of performance auditing, the definition and content of performance auditing, and the main characteristics and roles of performance auditing in both countries [3]. In addition, the structure of auditors should be diversified, and Chen, Quanquan, Yang and Li (2005) introduce the characteristics of government performance auditing in the US, Sweden and Australia [4]. They argue that the legislature has a decisive role in government performance auditing in these three countries; the purpose of performance auditing focuses on the evaluation of rationality.

They argue that the legislature has a decisive role in government performance auditing in the three countries, that the purpose of performance

auditing focuses on reasonableness assessment, and that its objectives are dualistic. Wang Yanping (2007) compared the performance audits conducted by SAs in five European countries (the UK, France, Sweden, the Netherlands and Finland) between 1993 and 1995 and found that there were differences in the selection of audit targets in each country [5].

In terms of domestic empirical studies on the international comparison of government performance auditing, Chen Song-sheng and Yu Xinpei (2005) used the theory of institutional change as the theoretical basis and empirical research methods to verify the changes in government performance auditing in countries around the world, and the results showed that the high level of technology, the proportion of total fiscal expenditure (GDP) and the degree of transportation development in a country were positively related to whether a country conducted government performance auditing. Ouyang, Huasheng and Yu, Yu and Xin (2009) analyze seven demand influencing factors that affect the change of performance audit system, and combine the empirical data of economic and social development of countries around the world to find that per capita national income, education index and Gini coefficient are related positively to whether a country conducts performance audit at all.

Research Methods

The literature research method is a method used to obtain information by investigating the literature according to certain research objectives in order to gain a comprehensive and correct understanding of the research problem. In order to understand the history and current situation of government audits, this article conducts a large amount of literature search and literature reading in order to conduct a comparative study of government audits based on the history and current situation of government audits in Europe and the United States and Western countries. International comparative research is both a research perspective and a research method, and there is no doubt that the method of comparative analysis is the most basic method throughout this thesis. It includes not only the horizontal comparison of government audits between

countries in the same period, but also the vertical comparison of government performance audit in the same country in different periods.

Definition of Related Concepts

Performance Behaviorists, represented by Campbell, believe that performance is not the result of an activity, but the activity itself is the action or behavior that people actually do that is related to organizational goals and that can be observed. These behaviors have a positive or negative effect on individual or organizational effectiveness and can be fully controlled by the individuals themselves. Outcome theorists, represented by Bernard I, consider performance as a record of output produced by a specific job function, activity, or behavior over a specific period of time [7]. This paper argues that performance is a comprehensive concept whose concept itself has evolved gradually and for the time being should contain at least the three most basic characteristics of economy, efficiency and effectiveness. Economy is the lowest cost to obtain a certain quality of resources simply means whether the expenditure is economical. Efficiency is the relationship between inputs and outputs including whether a certain output is achieved with a minimum input or a maximum output with a certain input. Effectiveness is the extent to which policy objectives, operational objectives and other expected results are achieved, i.e. whether the objectives are met. The government audits referred to in this paper refers to the activities of the audit authority to examine and evaluate the economy, efficiency and effectiveness of the management and use of public resources by the audited unit. The audited units include all departments and enterprises and institutions that use public resources. Public resources is a broad concept that includes both public funds and public materials, information and other licensed rights.

The national audit system (NAS) is a general term for the typical organization, leadership system, and authority of the national audit body, which is institutionalized by the state according to the needs of political and economic development through the constitution, audit law, and other legal procedures. In a general sense, the typical auditing systems in countries around the world can be legislative, judicial, administrative and

independent.

Under the legislative audit system, Legislative audit system (SAIS) are independent of government departments and are subordinate to the legislature-parliament, to which they are accountable and reports on their work. The main function of the legislative audit body is to assist the legislature in monitoring the government and to influence the legislature's decisions to a certain extent.

The supreme audit institution under the administrative audit system is subordinate to the executive branch of the government or to the head of a government department. Audits institutions audit the financial budgets and revenue and expenditure activities of government departments and units in accordance with the authority granted by national law. They are responsible to the government for ensuring the proper implementation of government financial policies, decrees, plans and budgets.

The Government Performance Audits Development in Major Countries

Government audits are integral aspect of a nation's administrations, administrations; thus, it must play a crucial role in the growth of the economy. From the standpoint of economic fiduciary responsibility, the government administers public resources, runs state operations, safeguards state rights, promotes social stability, and protects the people's interests in line with the will of the people.

Government audits are performed by state auditing agencies and are specified by the auditing entity's criteria. In the instance of government audits, public fiduciary responsibility motivated the formation and development of government auditing. The public fiduciary relationship between the government and the public is reflected in the process by which local governments raise and use debt, and the effective performance of public fiduciary duties and the effective supervision of local governments must be ensured by the legal compulsion and authority of government audits organs. As a result, the focus of this article is on audits undertaken by government audits agencies in terms of the auditing entity. Notably, the scope of government auditing in this context includes, but is not limited to, what

is popularly known as government debt auditing. Commonly, a government debt audit refers to the specific audit activities organised/organized by the audit department for government debt (e.g., the national (local) government debt audits organised/organized by the OIG in 2011 and 2013), which are more labor-intensive and less realistic than a regular debt audit of this scope. Nonetheless, the prevention of local government debt risks calls for ongoing vigilance. In addition to special government debt audits, the budget execution audits, economic responsibility audits, policy tracking audits, and even financial and state-owned enterprise audits conducted by our government auditing departments can identify, reveal, and address problems in the area of local government debt from a variety of angles.

Currently, the United States, the United Kingdom, and Australia are the countries that have the most experience performing government audits. Value for Money Auditing in the United Kingdom; Performance Audits in the United States and Australia. This section examines the evolution of government audits in these three English-speaking nations.

Because the practice of government audits originated in the United States, the United States has the most experience in the field. In the 1940s and 1950s, the United States General Accounting Office (GAO) began early attempts and explorations on government performance auditing, and in the 1970s, government audits in the United States began to be legislated to ensure the legitimacy of government performance practices. Specifically, in 1972, the GAO published "Guidelines for Auditing Government Agencies, Programs, Activities, and Responsibilities," which clarified the "3Es" of government audits in the United States: assessing the financial status of management activities and compliance with legal requirements; assessing the economy and efficiency of management; and assessing the performance of management. The 3Es are as follows: first, to evaluate the financial performance of management activities and compliance with legal requirements; second, to review the economy and efficiency of management; and third, to evaluate project results in terms of attaining anticipated outcomes [8]. It is the first time in the world that the primary aims

and substance of government audits have been outlined in a legally binding document. According to data published in the General Accounting Office's (GAO) Watchdog Report, from the 1970s to the start beginning of the 21st century, 87 % of U.S. auditors conducted "3Es" performance audits, and "3Es" performance audits have become the most important aspect of U.S. government auditing. It might be claimed that "3Es" performance auditing has become the most crucial aspect of government auditing in the United States. It may be claimed that the implementation of the "3Es" principle of U.S. government performance auditing shattered the traditional boundaries of financial auditing, increased the scope of government audits, and improved the structure and substance of U.S. government audits. Later, the U.S. government adopted the "Guidelines for Performance Audits in the Field," the "Performance Audit Reporting Guidelines," and other laws and regulations, standardising/standardizing U.S. government audits. In addition to "3Es" audits, the GAO also performs audits of financial and non-financial government perks. In the 2020 GAO Audit Report, 54 government audits are listed, such as "Global Food Security: Information on Food Assistance from the United States and Other Food Donors," "Tax Incentives for Low-Income Areas: Improving the Performance Evaluation System for Tax Incentives," and "5G Networks: Improving the Performance Evaluation System for Tax Incentives."

The United Kingdom has a long tradition of performing government audits; nevertheless, formal government audits, created by law in the 1970s, were referred to as "value for money audits" in the United Kingdom [9]. After Margaret Thatcher became Prime Minister of the United Kingdom in 1979, the Conservative-led Thatcher government launched a powerful wave of administrative reforms known as the New Public Management (NPM) movement, which advocated the introduction of business management techniques, competition, and customer focus in public administration. In 1981, the British government's Public Accounts Committee produced its renowned report titled "The Role of the Comptroller and Auditor General" as a result of the influence of this movement. Article 6 of

the report stipulates that the Auditor General has the ability to investigate the economy, efficiency, and effectiveness of the use of resources by each government department, agency, or other entity in the discharge of its responsibilities. Similar to the United States, government audits are based on the "3Es" premise. The U.S. "3Es" performance audit has a greater scope than the U.K. "3Es" performance audit, which is a thorough evaluation of economy, efficiency, and effectiveness. This report marks the first time that the national audit department of the United Kingdom can conduct government audits in compliance with applicable rules and regulations. Audits of government performance in the United Kingdom can be roughly divided into four categories: assessment and inspection of the most severe instances of waste and inefficiency; assessment and inspection of large-scale projects and key project works in specific sectors; assessment and inspection of management activities; and inspection of some smaller-scale activities. The Audit Commission is the primary government department responsible for conducting government audits in the United Kingdom, and its yearly investment in government audits is growing annually. Alone in 2020, the UK Audit Office published more than 100 performance audit reports, representing 40 percent of all government audit reports issued by the Audit Office. The performance audit reports of the UK Audit Office include over ten categories, including military, education, law, transportation, agriculture, social security, and taxation.

The Australian Audit Office is the highest-ranking audit institution in Australia, and it is a separate entity from government ministries. Early in the 20th century, the Australian government established Article 54 of the Audit Act, which provided the Audit Office the legal right to conduct "project audits." This marked the beginning of the Australian government audits. Currently, the Auditor-General is required to report annually to the Australian Parliament on the results of government audits conducted by the Audit Office in accordance with its statutory responsibilities, and the Audit Office is subject to direct oversight by the Parliamentary Joint Committee on Public Accounts and Audit (JCPAA). The Australian Audit Office conducts audits of government

performance in four primary areas: assessment of government economic management and investment programmes of general public interest; assessment of social security issues; assessment of telecommunications and information technology; and assessment of the implementation of previous audit recommendations. The Australian Audit Office conducted 34 performance audits between 1979 and 1986, followed by a series of laws, regulations, and implementation guidelines in the 1990s, such as the Auditor-Act, General's the Performance Audit Act, and the Performance Audit Guidelines, to mature the Australian government's performance audit system.

In summary, government audits have the following common features. All have sophisticated legal, regulatory, and audit guidance systems. Although audit institutions in major English-speaking nations have varied names, the formation of these audit organisations organizations and the determination of the scope of government audits are firmly grounded in legislation. In 1993, the U.S. government issued a number of rules and regulations, such as the Government Performance and Results Act and the Government Sector Performance Audit Act, which have effectively facilitated the implementation of performance auditing at all levels of the federal government. In addition, the U.S. government's Audit Evaluation Standards for Government Organizations, Programs, Activities, and Responsibilities further specifies the objective, scope, and methodology of government audits, and is a crucial government audits guideline [6]. The Local Government Act, the National Audit Act, the Performance Audit Manual, and a number of other legislation acts, rules, and auditing standards established by the government of the United Kingdom have also provided a firm foundation for government audits in the United Kingdom. The Australian government's legislation, regulations, and auditing standards, such as the Auditor-Act, General's Performance Audit, and the Performance Audit Program Guide, have each ensured the smooth implementation and credibility of government audits in their respective countries. In contrast, despite the fact that our government has enacted laws and regulations such as the Audit Law and the Certified Public Accountants Law, the content of government audits is still

extremely flawed, a separate legal and regulatory system for government performance auditing has not been established, and there are still numerous issues with the construction of the government performance auditing guidance system.

On the one hand, the scope of government audits in the United States, the United Kingdom, and Australia is very broad; for example, the performance audits in the United States includes not only the audit of the management activities of government departments and national policies, but also the performance audit of the construction of the combat system of the Ministry of Defense; the government audits in the United Kingdom includes the performance audit of the construction of the combat system of the Ministry of Defense; and the government audits in Australia includes the performance audits of the construction of the combat system. On the other hand, audits of government performance in major Anglophone nations are very independent. The audit departments in the United States, the United Kingdom, and Australia all exist independently of government agencies and submit their work directly to Congress or Parliament. The independence of performance auditing is not only reflected at the level of affiliation, but also in its financial and personnel composition. For instance, the personnel of performance auditing agencies are primarily recruited by the auditor general alone, the funding for agency operation is primarily reviewed and allocated by Congress or the parliament, and the performance auditing agencies themselves are subject to the audit supervision of external CPAs in the society. The performance auditors themselves are subject to external audit monitoring by the community's CPAs, and the auditors' funding is not affected by the faults or opinions they uncover in the government [10]. Due to the dual leadership of government audits agencies in China, auditing agencies at all levels are governed by both superior auditing agencies and local governments. This has rendered it impossible to guarantee the independence of government performance audit organisations/organizations in China, particularly in terms of their financial and human resources. The insufficient independence of government performance auditing will not only reduce the efficiency of auditing organs, but also make it

impossible to ensure the objectivity and validity of audit results.

Auditing the performance of the government is a task involving multiple sectors; therefore, performance auditors must have a diverse professional knowledge base. The professionalism of government performance auditors in the United States, the United Kingdom, Australia, and other nations is typically rather high. In these nations, performance auditors have backgrounds in law, finance, economics, engineering, healthcare, the environment, etc. In addition, they are able to utilise/utilize technological analytical methodologies from numerous professional domains to scientifically and objectively assess the audit process's various challenges, so ensuring the professionalism and foresight of audit outcomes. In the United States, for instance, the General Accounting Office has fourteen audit teams that cover a vast array of professional fields, including acquisition and procurement management, applied research and methods, financial management, insurance management, national affairs and international trade, information technology, natural environment and resources, international strategic analysis, and homeland security. In addition, during performance audits of particular projects, the General Accounting Office employs authoritative specialists in the relevant sectors to participate in the audits, thereby ensuring the high quality of performance audit results. In contrast, the knowledge structure of China's performance auditors is rather similar, and the majority of them are financial auditors who cannot meet the standards of performance auditing based solely on their financial expertise. Moreover, the audit procedures utilised/utilized by performance auditors in China are somewhat archaic and antiquated, which significantly hinders the effectiveness of performance auditing.

The U.S. General Accounting Office has a comprehensive strategic plan and updates its strategic commitment every three years in order to gain the confidence and support of Congress. Whenever the United States faces a significant development opportunity or an unknown issue, the legislative support for GAO's strategic plans is always strong. For instance, GAO's 2013–2018 Strategic Plan, which was submitted to Congress,

clearly states that GAO has four strategic goals for this period: to address current and potential challenges that threaten the welfare and security of the American people and their property; to assist Congress in addressing the security challenges posed by globalisation/globalization; to assist the federal government in transforming its approach to national challenges; and to add value to GAO by providing maximising/maximizing GAO's value by enhancing GAO's capacity to conduct effective audits. The establishment of a strategy plan assists in broadening the macro perspective of performance audit agencies and employees and in better aligning performance audit activities with national and public interests. In addition, the Australian Audit Office has developed an Organizational Development Plan that is highly aligned with the national development policies of the Australian government, ensuring that performance auditing interacts in a continuous and positive manner with the management development of all government departments.

China's Response to Government Audits

Strengthening legislation and auditing standards for government performance audits. Legislation is the fundamental to ensuring the legitimacy of government performance auditing, and guidelines are the essential foundation for its effective execution. The United States, the United Kingdom, Australia, and other nations have established the legal status of government performance auditing at the legislative level through a significant number of pertinent laws, so that government performance auditing work is governed by laws and regulations. In contrast, China has not yet enacted an unique law for auditing government performance, and government audits can only be conducted in accordance with the Audit Law. China's Audit Law governs the entirety of government auditing, auditing; however, however, it has no specific instructions or procedures for government audits. Certain clauses do address government performance auditing, but in general, the division of responsibility and authority for government performance auditing is not specified. This has led to the convergence of performance auditing and regular financial auditing, and the effectiveness audit in performance auditing is insufficiently professional to objectively and

comprehensively examine the performance of government departments. Therefore, it is essential to update the legislation governing government performance auditing and to emphasize the significance and authority of government performance auditing in the law. For instance, the current Audit Law and its implementing regulations should be amended to include the division of responsibilities for government audits in the law, or a special Performance Audit Law and its implementing regulations should be enacted to clearly define the objectives, principles, rights, obligations, and responsibilities of performance audits in the law, so as to ensure the development of government audits through special legislation. Moreover, the United States, the United Kingdom, Australia, Canada, and other nations have perfect and complete working rules and instruction manuals for performance audits, which standardize its operation. Therefore, China should also expedite the revision of the National Auditing Standards and the development of special Performance Audit Operation Guidelines to clarify the content framework, audit methods, and evaluation criteria of performance auditing in the auditing guidelines, thereby enhancing the guideline system for government performance auditing in China [11].

Reform of institutions to bolster the independence of performance auditing. In the United States, the United Kingdom, Australia, and Canada, among other nations, audit agencies exist independently of the government and report directly to Congress or Parliament. This institutional structure is beneficial to the independence of auditing institutions, which in turn ensures that auditing institutions can exert significant oversight on government agencies. In addition, the auditor will not fear not getting cash allocations from the National Assembly or the Parliament as a result of the audit opinion on government departments, guaranteeing that the audit opinion is implemented. In China, auditing agencies are under the dual leadership of both higher-level auditing agencies and local governments, and they are also subject to the same level of government in terms of financial resources, which increases the pressure on performance auditors and, in some cases, makes it impossible

for them to maintain their independence, thereby diminishing the credibility and objectivity of audit results. Under these conditions, the key to improving the quality of government audits in China is reducing administrative interference in government audits and empowering auditing firms to conduct performance audits independently and autonomously. First, we should strengthen the institutional reform of auditing institutions based on China's national conditions, so that auditing institutions can emerge independently from the governmental relationship and reduce the connection and constraints between auditing institutions and governmental departments, which entails severing their affiliation. Secondly, utilizing the practices of the United States, the United Kingdom, Australia, and other nations, the administrative type of performance auditing should be transformed into a legislative type of auditing, and the auditor should be directly accountable to the National People's Congress of China in order to strengthen the NPC's oversight over the auditor. In addition, auditing agencies are mandated to submit annual audit reports to the NPC, and these reports are routinely made public in order to increase the openness and transparency of government audits. Finally, audit institutions should be funded as much as possible by independent budgets to minimize their financial interactions with government departments. To ensure the independence of government performance auditors to the greatest extent possible, audit leaders at all levels can also be granted the right to independently employ auditors.

Government audits are complicated task encompassing multiple professional sectors and needing auditors to have an extensive professional background. Consequently, the professional backgrounds of performance auditors in nations such as the United States and the United Kingdom are extraordinarily diverse, encompassing subjects such as finance, accounting, law, public administration, social science, and environmental protection. Therefore, China should also expedite the construction of a high-level performance auditing staff and priorities the introduction of multidisciplinary and complex talents in the performance auditing

staff, such as introducing outstanding talents with backgrounds in economics, law, management, statistics, mathematics, etc. Second, a frequent training system should be implemented to bolster the training of performance auditors, particularly in several areas such as target auditing, content auditing, and management auditing. The training should be integrated with personnel evaluation and position promotion procedures, requiring that auditors must achieve particular training assessment results in order to be eligible for promotion, which can significantly increase auditors' incentive to participate in training. Once more, the building of a younger performance audit team should be bolstered. Performance auditing is a high-intensity labour task that necessitates strong mental and physical strength of auditors; hence, the audit team must be kept young in order for them to be competent. However, the problem of ageing performance auditors in China is rather frequent, and according to data, the majority of present auditors in China are 41 or older, and the number of high-level auditors under the age of 35 is extremely limited. In order to improve the efficiency of performance auditing, it is necessary to adopt a greater number of innovative auditing techniques from abroad.

Conclusion

When audit institutions in the United States and Australia develop strategic plans, they typically clarify the macro objectives of government performance auditing from the perspectives of national defence security, economic security, and social security, thereby broadening the macro perspective of performance auditors and allowing them to better integrate performance auditing with national strategic development. In contrast, government performance auditing in China is still limited to micro concerns like financial auditing and audit legality, and the audit horizon is rather limited. Therefore, government performance auditing in China should establish macro strategic planning thinking as soon as possible, requiring auditors to conduct government performance auditing from the perspective of national development and national interests, so that performance auditing can truly serve national interests. When formulating strategic plans, performance audit organisations organizations

can learn from the experiences and practices of the United States, Australia, and other nations, and make it a strategic objective to respond to diverse national threats, promote the transformation of government functions, and maximize the value of audit organizations through the provision of high-quality services. In selecting the substance of strategic planning for performance auditing, it is required to expedite the transition from "3Es" performance auditing to "5Es" performance auditing, i.e., to place an emphasis on "economy and efficiency" in performance auditing. In other words, we should increase the evaluation of "environment" and "fairness" in light of "economy, efficiency, and effectiveness." For instance, if a government department's management operations or projects conform with the applicable standards, whether they comply with national production safety standards, or whether they pose a hazard to the public's health. Only by applying

the "5Es" paradigm to government audits will we be able to provide more exhaustive and impartial audit recommendations. Government audits have advanced to the point where an increasing number of governments are paying attention to it. Both the legislation on government performance auditing and the investment in government performance auditing have demonstrated that government performance auditing has become an integral part of government auditing work in each country, particularly in the United States, the United Kingdom, Australia, and other nations[12]. Therefore, China should actively learn from the advanced experience of performance auditing in these nations, and continuously strengthen the deficiencies of many parts of government performance auditing in China, so that China's government performance auditing work may quickly reach a new level.

REFERENCES

1. Hatherly, D.J. and Parker, L. D. (1988), Performance auditing outcomes: a comparative study, *Financial Accountability and Management*, 1998, 4(1), pp. 21–41.
2. Johnsen A Moklin, P., Oulanina, L. and Vakkari, J. (2001), Performance auditing in local government: an exploratory study of perceived efficiency of municipal value for money auditing in Finland and Norway, *The European Accounting Review*, 2001, (3), pp. 583–599.
3. Shen Yi and Shen Hongbo (2002), A comparison of the current situation of performance auditing in the United States and Canada, *Hubei Audit*, 2002, (4), pp. 44–45.
4. Liu Fangyu and Wen Haishi (2005), Comparison and analysis of performance audit-related issues in foreign countries, *Journal of Beijing Jiaotong University*, 2005, (12), pp. 33–38.
5. Chen, Quanguan, Yang, Qiulin, Li, Jianxin (2005), A comparison of performance auditing environments in Chinese and Western governments, *Audit Research*, 2005, (2), pp. 53–55.
6. Wang Yanping (2007), A Comparative Study of Government Performance Audit Objects in China and Foreign Countries, *Audit Monthly*, 2007, (3), pp. 6–8.
7. Zhou Yong (2008), A Study on Government Performance Auditing in China, *Full Text Database of Chinese PhD Theses*, 2008, pp. 17–18.
8. Zhang Weixuan (2021), Exploring the challenges and methods of conducting a government performance audit, *Finance and Accounting Learning*, 2021, (16), pp. 134–135.
9. Mei Yuanqing, Lu Ying, Ding Tangli (2017), Research on the modification of government performance audit procedures in the United States and its influence on China based on an

empirical analysis of U.S. federal government financial reports, *Foreign Economic and Trade*, 2017, (4), pp. 151–154.

10. Xu Liangguo, Wang Yichang (2015), *Characteristics and motivations of government auditing in the United Kingdom*, 2015, (04), pp. 124–125.

11. Inspiration of foreign government performance auditing, *Audit Monthly*, 2015, (02), pp. 26–27.

12. Zhang Shengli, Chi Yuanqi (2021) Review and Prospects of Government Performance Audit Research, *Hebei Enterprise*, 2021, (04), pp. 93–94.

Статья поступила в редакцию 15. 03. 2023 г.

ПОВЫШЕНИЕ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТИ И РАЗВИТИЕ КЛАСТЕРОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ESG

IMPROVING INVESTMENT ATTRACTIVENESS AND DEVELOPING CLUSTERS IN THE REPUBLIC OF BELARUS BASED ON THE ESG CONCEPT

УДК 332.1

Г. А. Яшева*, Ю. Г. Вайлунова, А. А. Савосина

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-1-171-185>

G. Yasheva*, Yu. Vailunova, A. Savosina

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

КЛАСТЕР, ESG-КОНЦЕПЦИЯ, УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ, ИНВЕСТИЦИИ, ИНВЕСТИЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ

Кластеризация способствует достижению целей устойчивого развития, так как кластеры позволяют: создать рабочие места, повысить производительность труда, активизировать инновации, развить малое и среднее предпринимательство. В статье предлагается совершенствовать кластерный подход в Республике Беларусь на основе концепции ESG (Environmental (E) – окружающая среда; Social (S) – социальное развитие; Governance (G) – управление компанией). Кластеризация позволяет повысить не только инвестиционную привлекательность региона и страны, но также формировать и развивать взаимовыгодное сотрудничество и партнерские связи между участниками кластера, развитию смежных видов экономической деятельности, формированию инновационной инфраструктуры. Следовательно, кластеризация на основе ESG-концепции будет способствовать устойчивому экономическому росту, что подтверждает актуальность темы. Цель исследования – обосновать направления использования концепции ESG для повышения инвестиционной привлекательности и развития кластеров в Республике Беларусь. В статье рассмотрено понятие концепции ESG для формирования и развития кластеров. Проведен анализ инвестиционной активности в Республике Беларусь. Проанализированы процессы кластеризации в Республике Беларусь. Обос-

ABSTRACT

CLUSTER, ESG-CONCEPT, SUSTAINABLE DEVELOPMENT, INVESTMENTS, INVESTMENT ACTIVITY, DIGITALIZATION

Clustering contributes to the achievement of sustainable development goals, as clusters allow: creating jobs, increasing labor productivity, enhancing innovation, developing small and medium-sized businesses. The cluster approach in the Republic of Belarus based on the ESG concept (Environmental (E) – environment; Social (S) – social development; Governance (G) – company management) is proposed to be improved. Clustering allows not only to increase the investment attractiveness of the region and the country, but also to form and develop mutually beneficial cooperation and partnerships between cluster members, the development of related economic activities, and the formation of innovative infrastructure. Therefore, clustering based on the ESG concept will contribute to sustainable economic growth, which confirms the relevance of the topic. The purpose of the study is to justify the directions of using the ESG concept to increase investment attractiveness and develop clusters in the Republic of Belarus. The concept of ESG for the formation and development of clusters is considered in the article. The analysis of investment activity in the Republic of Belarus was carried out. The processes of clustering in the Republic of Belarus are analyzed. The directions of using the ESG concept in clusters in the Republic of Belarus are substantiated, including education in the field of the ESG concept; methodological support of the ESG concept in the cluster; organizational support of the

* E-mail: gala-ya@list.ru (G. Yasheva)

нованы направления использования концепции ESG в кластерах в Республике Беларусь, включая просвещение в области концепции ESG; методическое обеспечение концепции ESG в кластере; организационное обеспечение концепции ESG в кластере. Таким образом, внедрение концепции ESG в кластерах позволит повысить их инвестиционную привлекательность для внешних инвесторов; увеличит спрос на продукты кластера за счет повышения лояльности клиентов и улучшения имиджа организаций кластера; повысит качество трудовых ресурсов за счет развития бренда работодателя, что в целом будет способствовать достижению целей устойчивого развития.

ESG concept in the cluster. Thus, the introduction of the ESG concept in clusters will increase their investment attractiveness for external investors; increase demand for cluster products by increasing customer loyalty and improving the image of cluster organizations; will improve the quality of the workforce through the development of the employer brand, which in general will contribute to the achievement of sustainable development goals.

ВВЕДЕНИЕ

Кластеры выступают точками роста экономики. Это проявляется в следующем. Внедрение кластерных технологий объединения предприятий способствует росту деловой активности, улучшению инвестиционного климата в регионе и стране, развитию социальных, экономических, информационных и интеграционных систем, что, в свою очередь, дает импульс для более интенсивного развития предпринимательства, привлечения инвестиций и экономического подъема территорий. Задачи по созданию кластеров в Республике Беларусь поставлены в ряде Государственных программ (Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы [1], Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь 15.09.2021 № 348) [2] и стратегий развития регионов (Стратегия устойчивого развития Витебской области на 2016–2025 годы [3].

Для развития кластеров и регионов страны в целом требуются инвестиции. Так, в настоящее время в Республике Беларусь существуют – 8 действующих, 18 потенциальных и 6 формирующихся кластеров [4]. Процессы кластеризации проходят медленно. Одним из направлений привлечения инвестиций в экономику страны в «Стратегии привлечения прямых иностранных инвестиций в Республику Беларусь до 2035 года» обозначена поддержка развития цифро-

вых секторов экономики с помощью создания кластеров [5]. То есть кластеры рассматриваются как инструмент привлечения иностранных инвестиций.

Несмотря на активизацию деятельности иностранных инвесторов в экономике Республики Беларусь, в трансформационный период, страна проигрывает конкуренцию многим государствам по объемам привлекаемого зарубежного капитала. Внешние угрозы и глобальные вызовы ограничили приток инвестиций в Республику Беларусь. Инвестиции являются необходимым ресурсом для стабилизации и роста экономики. Определенным трендом в развитии региональных экономик стал тренд на устойчивость. Конкурентоспособность и устойчивость развития организации стали определяться принятыми практиками и подходами в области охраны окружающей среды, работы с человеческими ресурсами и корпоративного управления (Environmental, Social, Corporate Governance – ESG) [6]. Концепция устойчивого развития трансформировалась в концепцию ESG.

Зарубежный опыт показывает, что сегодня инвесторы начали ориентироваться на соответствие организации ценностям ESG (Environmental (E) – окружающая среда (организация активна в сфере защиты экологии и природной среды); Social (S) – социальное развитие (бизнес должен обеспечивать сотрудникам достойные условия работы и равные возможности для трудоустрой-

ства, поддерживать общественные организации); Governance (G) – управление компанией [7]. По прогнозу Bloomberg, к 2025 году уровень ESG-ориентированных инвестиций может вырасти до 53 трлн долларов США [6]. Данные Yandex Wordstat подтверждают актуальность концепции ESG: число поисковых запросов по теме ESG выросло в 2021 году на 458 % [8].

Гипотеза исследования заключается в том, что внедрение концепции ESG в кластерах будет способствовать привлечению инвестиций и созданию интернациональных кластеров в Беларуси и ускорит процесс кластеризации.

Вопросы теории и методологии формирования и развития кластеров рассматривались в работах таких зарубежных и отечественных исследователей, как М. Афанасьев, М. Бест, А. В. Бондаренко, Т. П. Быкова, М. П. Войнаренко, Л. А. Истомина, Д. М. Крупский, Л. Мясникова, М. Портер, С. Ф. Пятинкин, Н. Г. Синяк, О. Солвелл, В. С. Фатеев, Э. Янг Лоурен и других.

Вопросы соответствия организаций принципам ESG рассматривались следующими учеными: экологические аспекты – Ануфриев В.П., Гудим Ю.В., Каминов А.А., Ryazanova N.Y., Sharkova A.V., Lobzhanidze N.E. и др.; социальные аспекты – Lehman G., Kuruppu S.C., Deegan C., Adhikari B.K., Eccles R.G., Stroehle J. и др.; управленческие аспекты – Батаева Б.С., Кокурина А.Д., Карпов Н.А., Вострикова Е.О., Мешкова А.П. и др.

Методологию ESG исследуют и разрабатывают не только ученые, но и правительства, международные организации, некоммерческие организации, занимающиеся защитой прав инвесторов, рейтинговые агентства, фондовые биржи, а также такие влиятельные политические организации, такие как Всемирный экономический форум.

Теорию и практику инвестиционного климата и инвестиционной привлекательности исследовали: важность инвестиций (Давыдова Е.Ю., Рыбникова М.А., Серегин С.С., Влащук В.Н. и др.); инвестиционная привлекательность на макроэкономическом уровне (Климовских Н.В., Масленникова Е.В., Безрукова Т.Л., Добросоцкий М.Н., Литвинова В.В. и др.); инвестиционная политика (Райзберг Б.А., Виленский П.Л., Шарп Уильям Ф., Леонтьев В. Е. и др.); инвестиционная привлекательность на микроэкономическом уровне

(Крамина Т.В., Леонова В.А., Тимирясовой А., Голов Р.С. и др.); факторы, влияющие на инвестиционную привлекательность предприятия (Ендовицкий Д.А., Юхтанова Ю. А., Братенкова А. В., Ростиславов Р.А., Мельничук О. М. и др.); методики оценки инвестиционной привлекательности предприятия (Чараева М.В., Влащук В.Н., Бараненко С.П., Бусыгин К.Д. и др.).

Вместе с тем, задача повышения инвестиционной привлекательности кластеров в Республике Беларусь на основе ESG-концепции не была решена предыдущими исследователями.

Цель исследования – обосновать направления использования концепции ESG для повышения инвестиционной привлекательности и развития кластеров в Республике Беларусь.

Сформулированы следующие задачи:

- рассмотреть содержание ESG-концепции и возможности ее применения для повышения инвестиционной привлекательности и развития кластеров;
- провести исследование инвестиционной активности в Республике Беларусь;
- проанализировать процессы кластеризации в Республике Беларусь;
- обосновать направления использования ESG-концепции в кластерах в Республике Беларусь.

Применение концепции ESG для повышения инвестиционной привлекательности и развития кластеров

Концепция ESG появилась как совершенствование концепции устойчивого развития, как ее составная часть. ESG – это устойчивое развитие коммерческой деятельности организаций. Концепция ESG базируется на учете в корпоративных стратегиях факторов: экологических (Environmental), социальных (Social), управленческих (Governance). В 2004 году впервые появилось понятие ESG в докладе, разработанном по инициативе Глобального договора ООН, как усовершенствованная концепция устойчивого развития [9]. В 2014 г. появилось законодательство в области ESG в ЕС. После принятия «Принципов ответственного инвестирования ООН» в 2006 году концепция ESG стала известной. В этом документе ответственное инвестирование определяется как стратегия и практика включения экологических, социальных и управленческих

факторов в процесс принятия инвестиционных решений и реализации прав инвесторов для воздействия на поведение компаний. По состоянию на сентябрь 2021 года количество организаций, присоединившихся к Принципам ответственного инвестирования, составило 4 360 [9].

Оценка Global Sustainable Investment Alliance («Глобальный альянс устойчивых инвестиций») показывает, что в активах ESG по всему миру сосредоточено около \$ 40 трлн. А Bloomberg Intelligence, мировой лидер в области деловых и финансовых данных, новостей и аналитики, прогнозирует, что к 2025 году активы ESG составят треть (\$ 53 трлн) от общего объема глобальных инвестиций [10].

ESG также определяется как три области, представляющие интерес для «социально ответственных инвесторов», которые считают важным учитывать собственные ценности и интересы при выборе инвестиций [9, 11].

Компоненты ESG – это группы рисков и возможностей, которые влияют на способность компаний перейти к долгосрочной бизнес-мо-

дели, смягчить финансовые риски, поддержать инвестиционную привлекательность и доверительные взаимоотношения со всеми заинтересованными сторонами. Направления формирования эффектов от внедрения ESG-концепции представлены в таблице 1.

Исследование внешней среды позволило выявить предпосылки концепции ESG:

- углубление существующих глобальных проблем современности (глобальное потепление, социальное неравенство);
- появление новых глобальных проблем современности (пандемия COVID-19);
- санкции со стороны Европейского Союза и США;
- усиливающая тенденция к трансформации социальной структуры, обусловленная процессами «цифровизации»;
- возникновение новых социальных практик в различных сферах общественной жизнедеятельности (в частности, «Индустрия 4.0» в экономике).

Таблица 1 – Формирование эффектов от внедрения ESG-концепции

Аспекты ESG-концепции	Факторы	Экономический эффект
Экологический аспект	Климатические изменения, использование природных ресурсов и энергоносителей, управление отходами, биоразнообразие, качество воды и воздуха и т. д.	– увеличение выручки от реализации продукции (за счет привлечения клиентов B2B и B2C с помощью устойчивых продуктов, доступ к ресурсам благодаря более тесным отношениям с общественностью и государственными органами); – снижение ресурсоемкости
Социальный аспект	Развитие человеческого капитала, инклюзивность, условия труда и соблюдение прав человека, безопасность продукции и данных, взаимоотношения с клиентами и с общественностью в целом и т. д.	– рост производительности труда (за счет повышения мотивации сотрудников, привлечения талантов в результате высокого социального доверия); – снижение текучести кадров
Управленческий аспект	Прозрачная деловая среда, подотчетность, доверительные отношения и стабильность, соблюдение деловой этики и т. д.	– получение государственной поддержки и субсидий; – повышение окупаемости инвестиций за счет более эффективного долгосрочного распределения капитала

Источник: составлено автором на основе [8, 12].

Показатели экономической эффективности рассматриваются во взаимосвязи с ESG-факторами, которые стали неотъемлемой частью кредитного анализа международных рейтинговых агентств и напрямую влияют на рейтинг компаний. Корреляция ESG с финансовыми результатами позитивная (по данным Prosperity Capital Management) [12].

Концепция ESG внедряется для:

- повышения инвестиционной привлекательности бизнеса;
- повышения производительности труда;
- снижения текучести кадров;
- повышения имиджа и репутации компании.

Все вышеперечисленное способствует повышению экономической эффективности организации и устойчивому развитию экономики страны в целом.

Степень внедрения концепции ESG оценивается рейтинговыми агентствами. ESG-рейтинг – это мнение рейтингового агентства о том, в какой степени процесс принятия ключевых бизнес-решений в компании ориентирован на устойчивое развитие в экологической, социальной и управленческой сферах.

ESG-рейтинг используется для:

- оценки эффективности управления компанией и прогнозирования возможных корпоративных рисков, а также рисков в экологической и социальной сферах;
- повышения заинтересованности со стороны инвесторов и клиентов, ориентированных на работу с теми компаниями, деятельность которых соответствует принципам устойчивого развития.

Рэнкинг – это проект по сбору, систематизации и анализу ESG-данных, результатом которого становится составление ТОПа объектов по ESG оценке [12].

Крупными провайдерами и рейтинговыми агентствами, поставляющие ESG-рейтинги, ESG-рэнкинги и ESG-индексы являются: международные – MSCI, Sustainalytics, RobecoSAM и другие; российские – Expert, АКРА, НРА и другие [12].

В настоящее время в Республике Беларусь насчитывается большое количество крупных и средних компаний, которые знают и оценивают свои экологические, социальные и корпоративные риски бизнеса. Многие белорусские компа-

нии активно развивают стратегию корпоративной социальной ответственности бизнеса (КСО), инвестируют в экологические и социальные инициативы. При этом отсутствуют белорусские компании с присвоенными им ESG-рейтингами.

В Программе социально-экономического развития на 2021–2025 годы отмечено, что одним из приоритетных направлений развития Республики Беларусь является внедрение в среднесрочной перспективе финансовых инструментов поддержки зелёной экономики – зелёных облигаций, банковского проектного финансирования, создания банка зелёных инвестиций и др.

В Республике Беларусь в 2021 г. принято постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 декабря 2021 г. № 710 «О Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы». В принятом плане обозначено рассмотрение вопроса целесообразности применения ESG-рейтингования [13].

Национальный банк Республики Беларусь в 2021 г. аккредитовал рейтинговое агентство ООО «БИК Рейтингс» [14], а также согласовал методологию присвоения корпоративных рейтингов и методологию присвоения кредитных рейтингов лизинговым организациям.

Исследование рейтингового агентства ООО «БИК Рейтингс» по теме «Зеленое финансирование, ESG и перспективы их развития в Беларуси» [12] показало, что ряд организаций подтверждает приверженность социально ответственному бизнесу, в том числе 28 компаний являются участниками Глобального договора ООН, среди которых такие крупнейшие банки и предприятия, как: ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», ОАО «Сбер Банк», ЗАО «Минский завод безалкогольных напитков», ООО «Мобильные Теле-Системы», ОАО «Пивоваренная компания Аливария», ЗАО «МТБанк», ЗАО «БСБ Банк» и другие.

В 2022 г. ООО «БИК Рейтингс» утверждена методология присвоения ESG-рейтингов компаниям, городам и регионам [15].

Причины использования инвесторами ESG-рейтингов отражены в таблице 2.

Инвесторы меньше поддерживают компании с низким ESG-рейтингом. В 2020 году компания «ЕУ» провела опрос среди институциональных

Таблица 2 – Причины использования инвесторами ESG-рейтингов

Причина	Оценка, %
Предоставление информации (данных), существенных для инвестиционной деятельности	71
Дополняют другие исследования организации по корпоративным показателям (рискам) ESG	65
Растущий спрос со стороны ключевых стейкхолдеров на использование ESG-рейтингов	35
Достоверный/качественный источник информации о корпоративных показателях ESG	35
Организация обязана интегрировать рейтинги ESG в инвестиционный анализ (принятие решений)	12
Организация получает репутационную выгоду от использования ESG-рейтингов	6
Другие	18

Источник: составлено автором на основе [8, 12].

инвесторов – страховых и инвестиционных компаний, пенсионных и благотворительных фондов. В результате 98 % опрошенных заявили, что строго отслеживают ESG-рейтинг компании. Главными причинами являются следующие:

1. Наличие позитивной связи между ответственным инвестированием и доходностью ценных бумаг.

2. Снижение риска для инвесторов благодаря учету ESG-рейтинга. Инвесторы могут избежать компаний, деятельность которых связана с экологическими рисками и крупными денежными потерями. Например таких, как разлив нефти из-за взрыва платформы компании Transocean в 2010 году.

Банки учитывают ESG-рейтинг при выдаче кредитов. Например, Сбербанк выдал кредит инвестиционной компании АФК «Система» в ноябре 2020 года: в этом кредите процентная ставка привязана к выполнению требований об экологической политике и ответственном инвестировании [16].

Можно сделать вывод, что следование принципам ESG участникам кластера позволит получить такие экономические выгоды:

1. Привлечение инвестиций, поскольку инвесторы доверяют социально ответственным компаниям.

2. Повышение имиджа и репутации организации и реализации PR-стратегии.

3. Повышение лояльности клиентов, которые, например, считают важной заботу об окружающей среде.

4. Развитие бренда работодателя, так как социальная составляющая ESG напрямую влияет на позиции компании на рынке труда.

Анализ инвестиционной активности в Республике Беларусь

В связи с ограниченностью внутренних источников финансирования инвестиций в основной капитал, актуальным для Беларуси является привлечение иностранных инвестиций. В 2021 году в Республику Беларусь привлечено 8,7 млрд долл. США иностранных инвестиций, в том числе прямых – 6,6 млрд долл. США. Объем прямых иностранных инвестиций (далее – ПИИ) на чистой основе составил 1,3 млрд долл. США (меньше уровня 2020 г. на 7,1 %), 35 % из них приходится на сектор промышленности. В тройку основных инвесторов ПИИ на чистой основе входят Российская Федерация (27,8 % от общей суммы), Кипр (19 %) и Австрия (4,8 %) [17].

Из таблицы 3 видно, что в стоимостном выражении объем иностранных инвестиций, поступивших в реальный сектор экономики Республики Беларусь, за период 2015–2021 гг. снижается.



Источник: составлено автором.

Таблица 3 – Объем иностранных инвестиций по видам, поступивших в реальный сектор экономики Республики Беларусь, млн долларов США

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Объем иностранных инвестиций, поступивших в реальный сектор экономики Республики Беларусь, млн долларов США	11 344,2	8 559,8	9 728,5	10 842,0	10 006,8	8 680,2	8 698,7
в том числе:	–	–	–	–	–	–	–
прямые иностранные инвестиции в Республику Беларусь	7 241,4	6 928,6	7 634,2	8 537,1	7 233,2	6 006,0	6 558,0
портфельные иностранные инвестиции в Республику Беларусь	5,1	2,8	8,4	3,9	6,7	4,8	4,3
прочие иностранные инвестиции в Республику Беларусь	4 097,7	1 628,5	2 085,9	2 301,0	2 766,9	2 669,4	2 136,3
Прямые иностранные инвестиции на чистой основе (без учета задолженности прямому инвестору за товары, работы, услуги), млн долларов США	1 611,8	1 307,2	1246,8	1 634,9	1 327,2	1 414,8	1 327,4

Источник: на основе данных [17, 18].

Поступление иностранных инвестиций в экономику Республики Беларусь по итогам 9 месяцев 2022 года составило 5,3 млрд долл. США, что на 20,4 % ниже объема за 9 месяцев предыдущего года. Вместе с тем, по прямым иностранным инвестициям на чистой основе в указанном периоде наблюдается рост [18].

Основную долю, 87,4 % (4,64 млрд долл. США), занимают прямые иностранные инвестиции, их объем снизился на 3,9 %. Таким образом, за анализируемый период инвестиционная активность в Беларуси снизилась.

Внешние факторы (в том числе и COVID-19) усилили негативные тенденции в движении пря-

мых иностранных инвестиций и для Республики Беларусь.

Новым трендом развития финансирования является «зеленое финансирование». Суть его определена в Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 10 декабря 2021 г. № 710) [13]: «Зеленое» финансирование – формы и инструменты финансирования, осуществляемые в целях развития «зеленой» экономики; где «Зеленая» экономика – модель организации экономики, направленная на достижение целей социально-экономического развития при существенном сокращении экологических рисков и темпов деградации окружающей среды».

В Республике Беларусь положения по развитию зелёного финансирования отражены в программных документах:

- Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года (Президиум Совета Министров Республики Беларусь 4 февраля 2020 г.);

- Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292);

- Национальном плане действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы (Постановление Совета Министров Республики Беларусь 10 декабря 2021 г. № 710).

Различные страны предусматривают финансовые льготы в сфере зелёного финансирования, в т. ч. льготные условия кредитования, механизмы снижения нагрузки на нормативный капитал и др. [12].

Примером зеленого финансирования в Беларуси является программа для финансирования экологических проектов микроорганизаций, малого и среднего бизнеса, а также индивидуальных предпринимателей по льготной ставке, разработанная ОАО «Банк развития Республики Беларусь». Также можно обозначить Программу финансирования устойчивой энергетики в Беларуси (BelSEFF), которая реализована белорусскими банками при поддержке ЕБРР, которая реализуется в рамках международного

сотрудничества в области зеленых финансов. Примером «зеленой» инициативы является опыт ЗАО «МТБанк», банк заключил соглашение с международной финансовой организацией NEFKO (Nordic Environment Finance Corporation) для финансирования энергоэффективных проектов [19, 20, 21].

Анализ процессов кластеризации в Республике Беларусь

Инструментом устойчивого развития является кластер. Кластерная статистика свидетельствует о том, что в зарубежных странах активно функционируют кластеры. Кластеризацией уже охвачено более 50 % экономик ведущих стран. В Республике Беларусь процессы формирования кластеров идут медленно [22]. На сегодняшний день в Республике Беларусь: 8 действующих кластеров [4]. Ряд государственных программ, стратегий, концепций регламентируют создание кластеров.

Действующая практика государственной поддержки кластеров в Республике Беларусь отражает направления финансирования отдельных кластерных проектов на основе конкурсного отбора. Однако недостаток ресурсов, отсутствие методики конкурсного отбора кластерных проектов с учетом концепции ESG являются негативными факторами, влияющими на процесс кластеризации.

Исследования показали, что: процесс кластеризации в Республике Беларусь идет медленно; Государственные Программы по созданию кластеров выполняются не в полной мере; в Республике Беларусь большинство потенциальных и формирующихся кластеров; фактором, сдерживающим кластеризацию в Республике Беларусь является нехватка инвестиций; отсутствие методики ESG-рейтинга для субсидирования перспективных кластеров; организации не осведомлены о преимуществах концепции ESG для кластеров.

Одним из направлений привлечения средств в кластер является внедрение ESG-концепции в кластер. В Европейском Союзе 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 [23].

Кластерные программы в ЕС 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 крупнейших инвестиционных фондов. Основная программа, направленная на развитие инноваций, в том числе в кластерах, (Horizon2020) предполагает годовой бюджет в размере 80 млрд евро [23].

В рамках программы Horizon2020 предусмотрено несколько направлений финансирования, а именно: 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 [23].

Существенная особенность всех программ – принцип софинансирования 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 уровнях [24].

В Республике Беларусь согласно «Концепции формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь и

мероприятий по ее реализации», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16 января 2014 г. № 27: «Предусматривается, что в пределах средств республиканского и местных бюджетов, направленных на государственную поддержку малого и среднего предпринимательства, а также за счет средств инновационных фондов, выделяемых в установленном порядке, и иных источников, не запрещенных законодательством Республики Беларусь, могут быть профинансированы в течение мероприятия в области кластерного развития» [25].

Отсутствует возможность оказывать кластерам государственную поддержку именно как объединениям субъектов хозяйствования. Сегодня такая поддержка может оказываться лишь участникам кластера за счет средств инновационных фондов областей.

Проект постановления Совета Министров Республики Беларусь «О некоторых вопросах формирования и реализации комплексных проектов на основе кластерной модели развития» [26] разработан Министерством экономики Республики Беларусь на основании Концепции формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь и мероприятий по ее реализации, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16 января 2014 г. № 27 [25], с целью установления порядка организации и функционирования кластеров, реализации на их основе комплексных проектов, а также стимулирования кластерного развития национальной экономики. Однако Проект еще не принят.

Источником финансирования мероприятий комплексного проекта планируются средства инновационного фонда и иные средства от не запрещенных законодательством источников.

Таким образом, в Республике Беларусь, согласно имеющейся нормативной базе, источниками финансирования кластеров могут быть: средства республиканского и местных бюджетов, средства инновационных фондов, выделяемых в установленном порядке, и иные источники, не запрещенные законодательством Республики Беларусь.

Если проводить сравнение с другими странами, то, например, в Российской Федерации ис-

пользуются следующие источники финансирования кластеров: собственные (чистая прибыль; резервные фонды; амортизационные отчисления и т. д.); заемные (банковский кредит; коммерческий кредит; средства от выпуска долговых ценных бумаг; краудлендинг; краудинвестинг и т. д.); привлеченные источники финансирования (эмиссия долевых ценных бумаг; государственные бюджет (федеральный, региональный, муниципальный бюджеты) – Федеральные целевые программы, Региональные и муниципальные программы развития экономики, поддержки малого и среднего бизнеса; краудфандинг и т. д. [27].

Таким образом, в Республике Беларусь ограниченное количество источников финансирования, ограниченное число государственных программ и фондов для финансирования кластеров.

Поэтому для развития процессов кластеризации актуальным является привлечение ESG-инвестирования в кластеры.

Направления внедрения ESG-концепции в кластерах в Республике Беларусь

На основе выявленных проблем в финансировании кластеров в Беларуси, а также опыта внедрения концепции ESG в странах ЕС, предлагаются следующие направления внедрения ESG-концепции в кластерах Республики Беларусь (таблица 4).

Таблица 4 – Направления внедрения концепции ESG в кластерах

Направления внедрения ESG-концепции в кластерах	Мероприятия
Просвещение в области концепции ESG	– подготовку квалифицированных специалистов, обладающих компетентностью в области концепции ESG, в том числе на государственной службе; – разработку образовательных программ, направленных на подготовку специалистов в области концепции ESG; – распространение идей и принципов концепции ESG в региональном бизнес-сообществе; – привлечение специалистов, в том числе зарубежных, имеющих опыт внедрения концепции ESG; – популяризацию и продвижение идеи использования концепции ESG в профессиональном сообществе граждан, занимающихся вопросами управления и бизнеса
Методическое обеспечение концепции ESG	– создание законодательной базы для оценки комплексных кластерных проектов и разработки методологии присвоения ESG рейтинга национальными рейтинговыми агентствами Республики Беларусь; – разработка методики ESG-рейтинга организаций, входящих в кластер; – разработка методов организационной поддержки ESG ориентированных кластеров; – финансирование ESG-мероприятий в кластере
Организационное обеспечение концепции ESG в кластере	– разработка востребованных ESG-продуктов и услуг в кластерах; – использование цифровых технологий в создании экопродуктов и чистых технологий; – проведение образовательных и просветительских программ по вопросам ESG и устойчивого развития, обмен опытом между стейкхолдерами кластера; – создание ESG цифровой платформы для сотрудничества стейкхолдеров кластера; – внедрение нефинансовой отчетности в кластерах

Источник: составлено автором.

Реализация этих мероприятий должна осуществляться на уровне Министерства экономики Республики Беларусь, комитетов экономики регионов и ключевых стейкхолдеров кластеров. В рамках кластерных стратегий должны быть сформулированы задачи по внедрению концепции ESG.

Потенциальными реципиентами ESG-финансирования могут быть как действующие и формирующиеся, так и потенциальные кластеры, для них актуальна ESG-стратегия.

ВЫВОДЫ

Тренды во внешней среде – экологизация, социальная ответственность бизнеса, цифровизация экономики и общества, создали предпосылки для использования концепции ESG в развитии кластеризации в Республике Беларусь. Внедрение концепции ESG в кластерах будет иметь следующие преимущества для субъектов кластерных структур: позволит повысить их ин-

вестиционную привлекательность для внешних инвесторов; увеличит спрос на продукты кластера за счет повышения лояльности клиентов и улучшения имиджа и репутации организаций кластера; повысит качество трудовых ресурсов за счет развития бренда работодателя. Позиционирование кластеров на основе концепции ESG привлечет малый и средний бизнес в кластеры, тем самым будет способствовать созданию новых рабочих мест, увеличению валового регионального продукта и поступлений в местные и республиканский бюджеты. Все это создаст условия для устойчивого развития экономики Республики Беларусь. В целях реализации условий предложены направления внедрения концепции ESG в кластерах: просвещение в области концепции ESG; методическое обеспечение концепции ESG; организационное обеспечение концепции ESG в кластере и конкретные мероприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь 29 июля 2021 г. № 292, режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292>, (дата доступа: 20.01.2023).
2. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Республики Беларусь 15.09.2021 № 348, режим доступа: https://pravo.by/upload/docs/op/P32100348_1632171600.pdf, (дата доступа: 20.01.2023).
3. Стратегия устойчивого развития Витебской области на 2016–2025 годы, режим доступа: <https://docplayer.com/44311405-Strategiya-ustoychivogo-razvitiya-vitebskoy-oblasti.html>, (дата доступа: 20.01.2023).
4. Карта кластеров Республики Беларусь // Министерство экономики Республики Беларусь, ре-

REFERENCES

1. Program of socio-economic development of the Republic of Belarus for 2021–2025: Decree of the President of the Republic of Belarus on July 29 2021 г. № 292, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292>, (accessed 20 January 2023).
2. State program of innovative development of the Republic of Belarus for 2021–2025: Decree of the President of the Republic of Belarus 15.09.2021 № 348, available at: https://pravo.by/upload/docs/op/P32100348_1632171600.pdf, (accessed 20 January 2023).
3. Strategy for sustainable development of the Vitebsk region for 2016–2025, available at: <https://docplayer.com/44311405-Strategiya-ustoychivogo-razvitiya-vitebskoy-oblasti.html>, (accessed 20 January 2023).
4. Map of clusters of the Republic of Belarus // Ministry of Economy of the Republic of Belarus,

- жим доступа: <https://economy.gov.by/uploads/files/Karta-Klasterov/Karta-klasterov-2022.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
5. Стратегия привлечения прямых иностранных инвестиций в Республику Беларусь до 2035 года, режим доступа: <https://investinbelarus.by/upload/strategy/Стратегия.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
6. Цифровизация и ESG // Ассоциация «Цифровая энергетика», режим доступа: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2021/10/Отчет-по-ESG.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
7. ESG-инвестиции захватывают мир. Что это и почему они все популярнее, режим доступа: <https://quote.rbc.ru/news/article/60efd48d9a79477f9b55d91d>, (дата доступа: 20.01.2023).
8. ESG переход. Возможности сегодняшнего дня // Центр компетенций по взаимодействию с международными организациями, режим доступа: <https://globalcentre.hse.ru/data/2022/04/11/1787560199/Кузнецова%20You%20Social%208.04.22.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
9. Эволюция, основные понятия и опыт регулирования ESG // НИФИ – Научно-исследовательский финансовый институт Министерства финансов Российской Федерации, режим доступа: https://www.nifi.ru/images/FILES/Reports/НИФИ_Экологические_социальные_управленческие_факторы_ESG.pdf, (дата доступа: 20.01.2023).
10. ESG-стратегия: модный тренд или работающий инструмент? Мнения экспертов и участников рынка // EcoStandard.journal, режим доступа: <https://journal.ecostandardgroup.ru/esg/test/esg-strategiya-modnyy-trend-ili-rabotayushchiy-instrument-mneniya-ekspertov-i-uchastnikov-rynka/>, (дата доступа: 20.01.2023).
- available at: <https://economy.gov.by/uploads/files/Karta-Klasterov/Karta-klasterov-2022.pdf>, (accessed 20 January 2023).
5. Strategies for attracting foreign direct investment to the Republic of Belarus until 2035, available at: <https://investinbelarus.by/upload/strategy/Стратегия.pdf>, (accessed 20 January 2023).
6. Digitalization and ESG // Digital Energy Association, available at: <https://www.digital-energy.ru/wp-content/uploads/2021/10/Отчет-по-ESG.pdf>, (дата доступа: 20 January 2023).
7. ESG investments are taking over the world. What is it and why are they getting more and more popular?, available at: <https://quote.rbc.ru/news/article/60efd48d9a79477f9b55d91d>, (accessed 20 January 2023).
8. ESG transition. Today's Opportunities // CompetenceCenterforCooperationwithInternational Organizations, available at: <https://globalcentre.hse.ru/data/2022/04/11/1787560199/Кузнецова%20You%20Social%208.04.22.pdf>, (accessed 20 January 2023).
9. Evolution, basic concepts and experience of ESG regulation // NIFI - Research Financial Institute Ministry of Finance of the Russian Federation, available at: https://www.nifi.ru/images/FILES/Reports/НИФИ_Экологические_социальные_управленческие_факторы_ESG.pdf, (accessed 26 January 2023).
10. ESG strategy: a fashionable trend or a working tool? Opinions of experts and market participants // EcoStandard.journal, available at: <https://journal.ecostandardgroup.ru/esg/test/esg-strategiya-modnyy-trend-ili-rabotayushchiy-instrument-mneniya-ekspertov-i-uchastnikov-rynka/>, (accessed 20 January 2023).
11. What is ESG (Environmental, Social, and Governance)? (2022) // ESG (Environmental, Social and Governance) A framework for

11. What is ESG (Environmental, Social, and Governance)? (2022) // ESG (Environmental, Social and Governance) A framework for understanding and measuring how sustainably an organization is operating, available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/esg-environmental-social-governance/>, (accessed 20.01.2023).
12. Зелёное финансирование, ESG и перспективы их развития в Беларуси / ООО «БИК РЕЙТИНГС», режим доступа: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/01/esg-i-zelyonoe-finansirovanie.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
13. Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 10 декабря 2021 г., № 710 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь, режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22100710>, (дата доступа: 20.01.2023).
14. В Республике Беларусь аккредитовано рейтинговое агентство ООО «БИК Рейтингс» // Национальный банк Республики Беларусь, режим доступа: <http://www.nbrb.by/news/10933>, (дата доступа: 20.01.2023).
15. Методология присвоения ESG-рейтингов компаниям, городам и регионам // BIK Ratings, режим доступа: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/07/metodologiya-esg-v.pdf>, (дата доступа: 20.01.2023).
16. ESG-принципы: что это такое и зачем компаниям их соблюдать // РБК Тренды, режим доступа: <https://trends.rbc.ru/trends/green/614b224f9a7947699655a435>, (дата доступа: 20.09.2022).
17. Беларусь: экономический обзор // Министерство финансов Республики Беларусь при участии Национального банка Республики Беларусь, Министерства экономики Республики Беларусь и understanding and measuring how sustainably an organization is operating, available at: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/knowledge/other/esg-environmental-social-governance/>, (accessed 20 January 2023).
12. Green finance, ESG and prospects for their development in Belarus / BIK RATINGS, available at: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/01/esg-i-zelyonoe-finansirovanie.pdf>, (accessed 20 January 2023).
13. National Action Plan for the Development of the "Green" Economy in the Republic of Belarus for 2021–2025: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, December 10 2021, № 710 // National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus, available at: <https://pravo.by/document/?guid=3961&p0=C22100710>, (accessed 20 January 2023).
14. The rating agency «BIK Ratings» LLC is accredited in the Republic of Belarus // National Bank of the Republic of Belarus, available at: <http://www.nbrb.by/news/10933>, (accessed 20 January 2023).
15. Methodology for assigning ESG ratings to companies, cities and regions // BIK Ratings, available at: <https://bikratings.by/wp-content/uploads/2022/07/metodologiya-esg-v.pdf>, (accessed 20 January 2023).
16. ESG principles: what they are and why companies should follow them // RBC Trends, available at: <https://trends.rbc.ru/trends/green/614b224f9a7947699655a435>, (accessed 20 January 2023).
17. Belarus: economic review // Ministry of Finance of the Republic of Belarus with the participation of the National Bank of the Republic of Belarus, the Ministry of Economy of the Republic of Belarus, JSC «Development Bank of the Republic of Belarus», available at: https://minfin.gov.by/upload/gosdolg/vneshniy/Belarus_Macroeconomic_Snapshot_2021_rus, (accessed

- лики Беларусь, ОАО «Банк развития Республики Беларусь», режим доступа: https://minfin.gov.by/upload/gosdolg/vneshniy/Belarus_Macroeconomic_Snapshot_2021_rus, (дата доступа: 20.09.2022).
18. Результаты инвестиционной политики // Министерство экономики Республики Беларусь, режим доступа: <https://economy.gov.by/ru/pezzultat-ru/>, (дата доступа: 20.09.2022).
 19. Увеличение масштаба «зеленых» инвестиций и финансирования в Беларуси // EaPGreen, режим доступа: http://www.green-economies-eap.org/ru/resources/Belarus_Scaling%20up%20Finance_Russian_FINAL.pdf, (дата доступа: 20.09.2022).
 20. Проект МТБанка и Nordic Environment Finance Corporation // Aleinikov & Partners, режим доступа: <https://argument.by/projects/detail.php?ID=290>, (дата доступа: 20.09.2022).
 21. Лузгина, А. (2021), Зеленый банкинг: сущность, инструменты и перспективы развития, *Банкаўскі веснік*, 2021, С. 31–42, режим доступа: <https://www.nbrb.by/bv/articles/10842.pdf>, (дата доступа: 20.09.2022).
 22. Яшева, Г. А., Вайлунова, Ю. Г. (2021), Оценка готовности малого и среднего предпринимательства к сотрудничеству в рамках кластера: методика и апробация, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 1 (40), С. 246–255.
 23. Clusters and Clustering Policy: a Guide for Regional and Local Policy Makers, available at: <http://cor.europa.eu/en/Ar-chived/Documents/59e772fa-4526-45c1-b679-1da3bae37f72.pdf>, (accessed 20.01.2023).
 24. European Cluster Panorama, available at: https://ec.europa.eu/growth/smes/cluster/observatory/cluster-mapping-services/clusterpanorama_en, (accessed 20.01.2023).
 - 20 January 2023).
 18. Results of investment policy // Ministry of Economy of the Republic of Belarus, available at: <https://economy.gov.by/ru/pezzultat-ru/>, (accessed 20 January 2023).
 19. Scaling up green investment and finance in Belarus // EaPGreen, available at: http://www.green-economies-eap.org/ru/resources/Belarus_Scaling%20up%20Finance_Russian_FINAL.pdf, (accessed 20 January 2023).
 20. MTBank project and Nordic Environment Finance Corporation // Aleinikov & Partners, available at: <https://argument.by/projects/detail.php?ID=290>, (accessed 20 January 2023).
 21. Luzgina, A. (2021), Zelenyj banking: sushchnost', instrumenty i perspektivy razvitiya [Green banking: essence, tools and development prospects], *Bankauski vesnik – Banking vestnik*, 2021, PP. 31–42, available at: <https://www.nbrb.by/bv/articles/10842.pdf>, (accessed 20 January 2023).
 22. Yasheva, G. A., Vailanova, J. G. (2021), Ocenka gotovnosti malogo i srednego predprinimatel'stva k sotrudnichestvu v ramkah klastera: metodika i aprobaciya [Assessment of the readiness of small and medium-sized enterprises for cooperation within the cluster: methodology and approbation], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2021, № 1 (40), PP. 246–255.
 23. Clusters and Clustering Policy: a Guide for Regional and Local Policy Makers, available at: <http://cor.europa.eu/en/Ar-chived/Documents/59e772fa-4526-45c1-b679-1da3bae37f72.pdf>, (accessed 20.01.2023).
 24. European Cluster Panorama, available at: https://ec.europa.eu/growth/smes/cluster/observatory/cluster-mapping-services/clusterpanorama_en, (accessed 20.01.2023).

25. Концепция формирования и развития инновационно-промышленных кластеров в Республике Беларусь и мероприятий по ее реализации»: постановление Совета Министров Республики Беларусь от 16 января 2014 г. № 27, режим доступа: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2014/january/11399/>, (дата доступа: 20.01.2023).
25. The concept of formation and development of innovative industrial clusters in the Republic of Belarus and measures for its implementation: Decree of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of January 16 2014 № 27, available at: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2014/january/11399/>, (accessed 20 January 2023).
26. Министерство экономики Республики Беларусь: Официальный сайт, режим доступа: <https://economy.gov.by/ru>, (дата доступа: 20.01.2023).
26. Ministry of Economy of the Republic of Belarus: Official site, available at: <https://economy.gov.by/ru>, (accessed 20 January 2023).
27. Стрельник, М. М. (2020), Источники финансирования кластера и его участников, *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 2020, № 9-1, С. 155–165, режим доступа: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1316>, (дата доступа: 08.02.2023).
27. Strel'nik, M. M. (2020), Istochniki finansirovaniya klastera i ego uchastnikov [Sources of funding for the cluster and its participants], *Vestnik Altajskoj akademii ekonomiki i prava – Vestnik of the Altai Academy of Economics and Law*, 2020, № 9-1, PP. 155–165, available at: <https://vaael.ru/ru/article/view?id=1316>, (accessed 20 January 2023).

Статья поступила в редакцию 25. 10. 2022 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Базыльчук Татьяна Андреевна	– кандидат технических наук, заместитель декана факультета «Коммерция и туристическая индустрия», Белорусский государственный экономический университет
Бондаренко Наталья Николаевна	– кандидат экономических наук, доцент, Институт бизнеса Белорусского государственного университета
Буркин Александр Николаевич	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Вайлунова Юлия Геннадьевна	– кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Воробьева Анна Сергеевна	– студент, Витебский государственный технологический университет
Гречаников Александр Викторович	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Грошев Иван Михайлович	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет; начальник центральной заводской лаборатории, ОАО «Витебскдрев»
Дойлин Юрий Владимирович	– генеральный директор, ОАО «Витебскдрев»
Дунай Валерий Иванович	– кандидат биологических наук, доцент, ректор, Полесский государственный университет
Ермалович Карина Олеговна	– аспирант, Витебский государственный технологический университет
Киреев Сергей Юрьевич	– доктор технических наук, профессор, декан факультета «Промышленные технологии, электроэнергетика и транспорт», Пензенский государственный университет

Ковчур Андрей Сергеевич	— кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Витебский государственный технологический университет
Козырь Алексей Викторович	— ассистент кафедры «Технологии аквакультуры», Полесский государственный университет
Кузнецов Андрей Александрович	— доктор технических наук, профессор, ректор, Витебский государственный технологический университет
Левакова Наталия Марковна	— кандидат технических наук, генеральный директор, ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»
Леденева Ирина Николаевна	— кандидат технических наук, профессор, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
Лисовский Дмитрий Леонидович	— аспирант, Витебский государственный технологический университет
Манак Павел Иванович	— директор, ОАО «Обольский керамический завод»
Марущак Юлия Игоревна	— магистрант, Витебский государственный технологический университет
Мурычева Виктория Владимировна	— кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Витебский государственный технологический университет
Ржеусский Сергей Эдуардович	— кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры «Менеджмент и маркетинг фармации», Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет
Рыклин Дмитрий Борисович	— доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Савосина Ангелина Александровна	— магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет

Садовский Виктор Васильевич	– доктор технических наук, профессор кафедры «Товароведение и экспертиза товаров», Белорусский государственный экономический университет
Сафонов Павел Евгеньевич	– кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ООО «ТЕКС-ЦЕНТР»
Сергеев Вячеслав Юрьевич	– старший преподаватель кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Скобова Наталья Викторовна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Тарасова Елена Владимировна	– кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Менеджмент и государственное и муниципальное управление», Смоленский институт экономики – филиал Санкт-Петербургского университета технологий управления и экономики
Тарутько Константин Игоревич	– аспирант, Витебский государственный технологический университет; ОАО «Витебскдрев»
Тимонов Иван Афанасьевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Туманов Владимир Сергеевич	– аспирант, Витебский государственный технологический университет
Черников Иван Игоревич	– магистрант, Витебский государственный технологический университет
Чжан Фэйлун	– аспирант кафедры «Национальная экономика и государственное управление», Белорусский государственный экономический университет
Юэлун Чжан	– аспирант, Институт бизнеса Белорусского государственного университета
Шикунец Алексей Борисович	– магистрант, Полесский государственный университет

Штепа Владимир Николаевич	– доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе, Полесский государственный университет
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

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Bandarenka Natallia	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor, School of Business of Belarusian State University
Bazylchuk Tatsiana	– Candidate of Sciences (in Engineering), Deputy Dean of the Faculty “Commerce and Tourism Industry”, Belarusian State Economic University
Burkin Alexander	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Chernikau Ivan	– Undergraduate Student, Vitebsk State Technological University
Doylin Yuri	– General Director, Vitsebskdrev JSC
Dunai Valeriy	– Candidate of Sciences (in Biology), Associate Professor, Rector, Polesky State University
Ermalovich Karina	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Groshev Ivan	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University; Head of the Central Factory Laboratory, Vitsebskdrev JSC
Hrachanikau Aliaksandr	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Kauchur Andrei	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Machine-building Technology”, Vitebsk State Technological University
Kireev Sergey	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Dean of the Faculty “Industrial Technologies, Electricity and Transport”, Penza State University
Kozyr Aleksey	– Assistant at the Department “Aquaculture Technologies”, Polesky State University

Kuznetsov Andrey	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Rector, Vitebsk State Technological University
Ledeneva Irina	– Candidate of Sciences (in Engineering), Professor, Russian State University named after A.N. Kosygin (Technology. Design. Art)
Levakova Natallia	– Candidate of Sciences (in Engineering), General Director, TEKS-CENTRE LLC
Lisouski Dmitry	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Manak Pavel	– Director, Obolsky Ceramic Plant JSC
Maruschak Yulia	– Undergraduate Student, Vitebsk State Technological University
Murycheva Victoria	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Automation of Production Processes”, Vitebsk State Technological University
Ryklin Dzmitry	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Textile Technology”, Vitebsk State Technological University
Rzheussky Siarhei	– Candidate of Sciences (in Pharmacy), Associate Professor at the Department “Management and Marketing of Pharmacy”, Vitebsk State Order of Peoples' Friendship Medical University
Sadovski Victor	– Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department “Commodity Science and Expertise of Goods”, Belarusian State Economic University
Safonov Pavel	– Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Researcher, TEKS-CENTRE LLC
Savosina Angelina	– Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Sergeev Vyacheslav	– Senior Lecturer at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Shikunets Aleksey	– Undergraduate Student, Polesky State University

Shtepa Vladimir	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Vice-Rector for Research, Polessky State University
Skobova Natallia	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Tarasova Elena	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor, Chair of the Department “Management and State and Municipal Administration”, Smolensk Institute of Economics – a branch of the St. Petersburg University of Management Technologies and Economics
Tarutko Konstantin	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University; Vitsebskdrev JSC
Tsimanov Ivan	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Tumanov Vladimir	– Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Vailunova Yulia	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor at the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Vorobyova Anna	– Student, Vitebsk State Technological University
Yasheva Galina	– Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department “Economic Theory and Marketing”, Vitebsk State Technological University
Yasinskaya Natallia	– Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Zhang Feilong	– Postgraduate Student at the Department “National Economy and Public Administration”, Belarus State Economic University
Yuelong Zhang	– Postgraduate Student, School of Business of Belarusian State 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 материалов и изделий текстильной и легкой промышленности;
- химическая технология;
- 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 150–250 слов – на русском или белорусском языке. В реферате должна быть отражена актуальность темы исследования, постановка проблемы, цель и методы исследования, полученные результаты. Последовательность изложения содержания статьи может быть изменена;
- авторскую аннотацию (abstract) объемом 200–300 слов, название статьи и ключевые слова – на английском языке. Аннотация призвана выполнять функцию независимого источника информации, должна быть информативной, оригинальной, структурированной;
- 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, депонирован-

ные рукописи) не допускаются. В библиографическом описании источника указываются фамилии и инициалы всех авторов, год издания (в круглых скобках), название источника (для статей – название журнала курсивом), номера страниц. Каждый источник должен иметь автора. Если упоминается сборник под редакцией, то в качестве автора указывается первый из редакторов. Если работа выполнена коллективом организации и конкретные авторы не указаны, в качестве автора указывается организация.

Если использованный источник опубликован не на английском языке, его библиографическое

описание необходимо привести на языке оригинала и дополнить переводом на английский язык и транслитерацией всей указываемой в описании информации.

Примеры перевода и транслитерации библиографического описания (оформление соответствует требованиям, описанным выше для русскоязычного описания) приведены в таблицах.

Также подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system) практически для всех видов публикаций даны на сайте

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), Технико-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.

<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 по-

лужирный 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 подписочную 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@yandex.by ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 1 (44)

Дизайн и вёрстка издания **Погорельская С.И.**

Редактор издания **Пухальская А.В.**

Дизайн обложки **Григорьева Н.В.**

Подписано в печать 12.07.2023. Печать цифровая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 24,2.
Уч.-изд. листов 20,0. Формат 60х90 ¹/₈. Тираж 100 экз. Заказ № 267.

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 ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 года.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 1235 от 8 февраля 2010 г.