

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 № 2 (45)

issue № 2 (45)



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



2023

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (45)

ВИТЕБСК 2023

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

VESTNIK

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 2 (45)

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. № 2 (45).
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

Ивашко Е.И., Буркин А.Н.

Методика определения паропроницаемости водозащитных материалов 9

Марченко В.Г., Рыклин Д.Б.

Оценка влияния стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды 17

Панкевич Д.К., Мойсейчик А.Ю.

Исследование водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур 27

Радюк А.Н., Буркин А.Н., Шаповалов В.М., Зотов С.В., Тимофеев А.А.

Структура и свойства композиционных материалов с использованием в качестве наполнителя древесной пыли 38

Химическая технология

Корниенко А.А., Дунина Е.Б., Соколова А.С., Масалова К.О.

Сравнительный анализ адекватности различных моделей для описания спектроскопических свойств лазерных материалов с примесью трехвалентных ионов эрбия и тулия 50

Тимонов И.А., Сергеев В.Ю., Гречаников А.В.

Исследование процесса коррозии бетонной тротуарной плитки 59

Экономика

Золотарева О.А., Сидская О.В.

Концентрация банковского рынка в Беларуси: влияние на конкурентную среду и предложения по ее оптимизации 69

Калиновская И.Н.

Анализ уровня цифровизации экономики Республики Беларусь и ее регионов 82

Касаева Т.В., Полушина А.А.

Индекс развития ИКТ в оценке уровня цифровизации организации 95

Мирончик В.В., Ванкевич Е.В.

Научно-технологический парк как драйвер развития молодежного предпринимательства в регионе 109

Советникова О.П., Петрова А.В.

Ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций: теоретические аспекты
и анализ состояния 128

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 140

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 146

CONTENTS

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

Ivashko Katsiaryna, Burkin Alexander

Methodology for Determining the Vapor Permeability of Waterproof Materials9

Marchenko Veronika, Ryklin Dzmitry

Evaluation of the Effect of Washings on Antistatic Properties of Fabrics for Workwear17

Pankevich Darya, Moiseichik Anna

Study of the Water and Vapor Permeability of Membrane Materials of Different Structures27

Radyuk Anastasia, Burkin Alexander, Shapovalov Victor, Zotov Sergey, Timofeenko Aliona

Structure and Properties of Composite Materials with a Wood Dust Filler..... 38

Chemical Engineering

Kornienko Alexey, Dunina Elena, Sokalava Hanna, Masalova Ksenia

Comparative Analysis of the Adequacy of Different Models for Description of the Spectroscopic Properties of Laser Materials Doped with Trivalent Erbium and Thulium Ions.....50

Tsimanov Ivan, Sergeyev Vyacheslav, Hrachanikau Aliaksandr

Investigation of the Corrosion Process of Concrete Pavement Tiles59

Economics

Zolotareva Olga, Sidskaya Olga

Concentration of the Banking Market in Belarus: Impact on the Competitive Environment and Proposals for its Optimization69

Kalinouskaya Iryna

Analysis of the Digitalization Level of the Economy of the Republic of Belarus and its Regions82

Kasayeva Tamara, Polushina Anastasia

The ICT Development Index in Assessing the Level of Digitalization in an Organization95

Mironchik Vladislav, Vankevich Alena

Science and Technology Park as a Driver of Youth Entrepreneurship Development in the Region..... 109

Sovetnikova Olga, Petrova Anastasiya

Resource Potential of Agricultural Organizations in the Regions: Theoretical Aspects and Analysis of the State	128
--	-----

INFORMATION ABOUT AUTHORS.....	140
--------------------------------	-----

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY».....	146
--	-----

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРПРОНИЦАЕМОСТИ ВОДОЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

METHODOLOGY FOR DETERMINING THE VAPOR PERMEABILITY OF WATERPROOF MATERIALS

УДК 677.017.636

Е.И. Ивашко*, А.Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-9-16>

K. Ivashko*, A. Burkin

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ, ВОДОНЕПРОНИЦАЕМОСТЬ, КОМПОЗИЦИОННЫЕ МЕМБРАННЫЕ ТЕКСТИЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ УСЛОВИЯ, МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Объектом исследования являются композиционные мембранные текстильные материалы, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды.

Предметом исследования является уровень паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов.

Цель работы – определение уровня паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов различной структуры.

В процессе работы проанализированы условия эксплуатации водозащитной демисезонной одежды для моделирования их в процессе испытаний. Предложена новая методика определения паропроницаемости материалов легкой промышленности, позволяющая моделировать различные условия эксплуатации, и устройство для ее реализации. Проведена оценка водонепроницаемости и паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов.

В ходе исследования паропроницаемости при температуре наружного воздуха +10 °С, скорости обдува – 3 м/с и относительной влажности воздуха 89 % восьми артикулов композиционных мембранных текстильных материалов,

ABSTRACT

VAPOR PERMEABILITY, WATERPROOFNESS, COMPOSITE MEMBRANE TEXTILE MATERIALS, OPERATING CONDITIONS, DETERMINATION TECHNIQUE

The article is devoted to the assessment of vapor permeability of composite membrane textile materials, which are widely used in the production of waterproof light industry products. These are clothes and shoes for active leisure and tourism, special clothes and shoes for workers, firefighters, medical workers, uniform for military personnel and many other products. The range of composite textile materials opens new possibilities for manufacturers of garments to provide protection from adverse weather conditions, improvement of microclimate in underwear space with significant weight reduction of package of materials. Vapor permeability index of composite membrane textile materials is the basic one for determining the level of their comfort. The indicator of water resistance is considered decisive in assessing their quality, since the purpose of composite membrane textile materials is to be waterproof. The authors propose a methodology for determining the vapor permeability of waterproof materials, allowing to simulate various operating conditions, and a device for its implementation. In contrast to the existing means of vapor permeability studies, the device used in the described method allows to create different air flow rate over the samples and to conduct tests at diffe-

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

различных по структуре и толщине полимерного слоя выявлено, что наилучшей способностью выводить испарения обладают образцы материалов с гидрофильной мембраной. Уровень паропрооницаемости исследуемых образцов данной группы варьировался от 4609 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$ до 6521 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$. Микроклимат в поддождежном пространстве при эксплуатации водозащитной одежды из таких материалов будет более комфортным для носчика. Предложенный подход к оценке паропрооницаемости композиционных мембранных текстильных материалов позволяет обеспечить рациональный подбор материалов в пакет изделий легкой промышленности в соответствии с заданными требованиями.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

rent water temperatures to simulate human sweating. With its help, it is possible to determine the vapor permeability of composite membrane textile materials under conditions close to operating ones and compare these materials with each other. With the help of the developed method and device, eight articles of composite membrane textile materials with different polymer layer structures were tested. According to the results of the study, it was found that the samples of materials with a hydrophilic membrane have the best ability to remove evaporation.

В настоящее время в швейной промышленности большое внимание уделяется производству водозащитной одежды. Использование водоотталкивающих и водонепроницаемых материалов требует от изготовителя учитывать специфику работы с данными материалами. Среди текстильных материалов, обладающих высоким уровнем водозащитных свойств, выделяются композиционные текстильные материалы, имеющие в своем составе мембранный полимерный слой.

Мембранный слой, обеспечивающий потребительскую ценность этих материалов, может быть гидрофобным, гидрофильным или комбинированным [1–5]. Ассортимент мембранных одежных материалов открывает перед производителями швейных изделий новые возможности обеспечения защиты от неблагоприятных погодных условий, улучшения микроклимата в поддождежном пространстве при значительном облегчении пакета материалов.

Показатель водонепроницаемости считается определяющим при оценке качества композиционных мембранных текстильных материалов, поскольку по назначению они – водозащитные. Автором [6] предложена следующая градация защиты: от морозящего дождя материал должен обладать водонепроницаемостью не менее 2,9 кПа , от дождя – 19,6 кПа , от ливня –

73,5 кПа .

Основным при установлении уровня комфортности композиционных мембранных текстильных материалов является показатель паропрооницаемости. Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой для исследования способности водозащитных материалов пропускать пары воды, сохраняя при этом высокий уровень водонепроницаемости. Стандартные методики, используемые для оценки паропрооницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения паропрооницаемости варьируют в широком диапазоне [7].

В источнике [8] предложены следующие значения уровня паропрооницаемости для тканей с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды: для съемных изделий кратковременного использования в сочетании с рабочей одеждой и одеждой для активного отдыха – 360 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, для верха и накладных деталей одежды, предназначенной для продолжительной легкой активности – 440 $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24\text{ч})$, для верха одежды, предназначенной для продолжительной средней и высокой активности –

480 г/(м²·24ч) и для верха рабочей одежды, предназначенной для продолжительной активности в тяжелых условиях – 560 г/(м²·24ч).

Существующие стандартные методики не обеспечивают близких к эксплуатационным условий проведения испытаний [7, 9–11]. Для устранения этого пробела коллективом авторов УО «ВГТУ», г. Витебск была разработана методика определения паропроницаемости материалов легкой промышленности, позволяющая моделировать различные условия эксплуатации, и устройство для ее реализации [12].

Для испытаний необходимы следующие средства измерений, испытательное и вспомогательное оборудование: линейка металлическая измерительная с пределом измерения не менее 300 мм с ценой деления 1 мм; устройство для контроля паропроницаемости материалов (рисунок 1), установленное в климатической камере; весы, обеспечивающие взвешивание с точностью до 0,01 г.

Используемый метод заключается в измерении паропроницаемости материала при создании определенных климатических условий в течение определенного времени.

Для испытания в качестве образцов могут применяться точечные пробы материалов, отобранные в соответствии с ГОСТом 20566–75 «Ткани и штучные изделия текстильные. Правила приемки и метод отбора проб». На испытываемых образцах не должно быть дыр, проколов,

и дефектов покрытия, определяемых визуально.

Из каждой точечной пробы вырезают по четыре элементарных пробы квадратной формы с размером стороны 115 мм. Перед испытаниями элементарные пробы должны быть выдержаны в развернутом виде в климатических условиях при относительной влажности воздуха (65±4) % и температуре воздуха (20±2) °С не менее 24 ч.

Комплектуют чашки 9 для образцов. Для этого устанавливают стандартную металлическую банку 10 в корпус 11. Стандартную металлическую банку 10 наполняют водой в объеме, обеспечивающем установленное методикой испытания расстояние до внутренней поверхности образца 14, сверху устанавливают на четыре шпильки 12 силиконовую прокладку 13, на нее укладывают образец 14 изнаночной стороной к воде и закрывают крышкой 15, устанавливая ее на шпильки 12 и закручивая последовательно четыре гайки 16, добиваясь герметичности. В гнезда столика 1 на электроконфорки 3 помещают скомплектованные чашки. Задают температуру нагрева электроконфорок 3, скорость вращения привода 4 и положение лопаток 8 крыльчатки 7. Столик 1 с чашками 9 для образцов помещают в испытательную камеру.

На пульте управления климатической камерой задают параметры испытания, соответствующие условиям эксплуатации материалов, а когда в рабочем объеме камеры установятся заданные

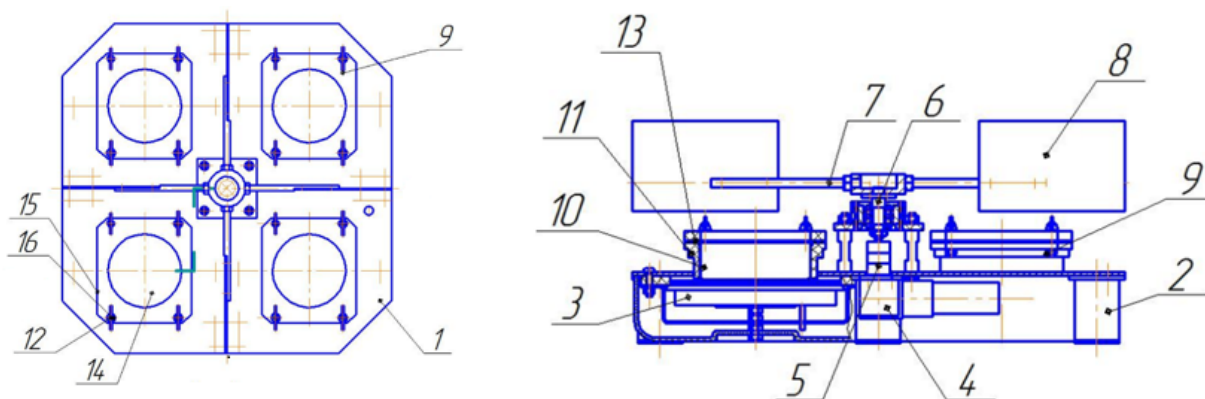


Рисунок 1 – Схема устройства для контроля паропроницаемости материалов

величины, подключают устройство к сети и отмечают время начала испытания. При этом привод 4 передаёт вращение посредством муфты 5 на ось 6, на которой закреплена крыльчатка 7. Лопатки крыльчатки, вращаясь, создают необходимый поток воздуха над образцами, а электроконфорки нагреваются до установленной температуры, нагревая воду в стандартных металлических банках. Температуру воды в банках контролируют с помощью встроенных автономных датчиков температуры, сигнал от которых поступает в блок регулировки нагрева конфорок, благодаря чему температура воды в каждой банке поддерживается постоянной на уровне $(36 \pm 1)^\circ\text{C}$. Не менее 1 часа требуется на достижение равновесного градиента давления водяного пара в испытательной конструкции. Через час проводят взвешивание каждого комплекта «чашка-образец» на весах с точностью до 0,01 г. Записывают массу каждого комплекта и фиксируют время, когда он был взвешен. После взвешивания возвращают каждый комплект «чашка-образец» на столик и продолжают испытания до истечения заданного времени.

После окончания испытаний комплекты «чашка-образец» повторно взвешивают и записывают массу каждого комплекта и время, когда он был взвешен.

Показатель паропроницаемости вычисляют по формуле (1):

$$VP = \frac{24 \cdot m}{A \cdot t}, \quad (1)$$

где m — потеря массы комплектом «чашка-образец» за период времени t , г; t — интервал времени между последовательными взвешиваниями комплекта, ч; A — экспонируемая площадь элементарной пробы образца (равная площади отверстия в крышке чашки), м^2 , вычисляют по формуле (2):

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где d — диаметр отверстия крышки, мм.

За окончательный результат испытания при-

нимают среднее арифметическое результатов четырёх определений, вычисленное с точностью до 0,1 г/($\text{м}^2 \cdot 24\text{ч}$) и округленное до целого числа.

Устройство, применяемое в описанной методике, позволяет создавать различную скорость потока воздуха над образцами и проводить испытания при различных температурах воды для моделирования потоотделения человека. С помощью него можно определить паропроницаемость композиционных мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным и сравнить данные материалы между собой. Чем выше будет показатель паропроницаемости, тем выше способность материала выводить испарения, и тем соответственно комфортнее будет одежда, изготовленная из данного материала.

Таким образом, целью данной работы является апробация методики определения паропроницаемости с использованием образцов композиционных мембранных текстильных материалов, применяемых для изготовления водозащитной одежды.

Исходя из анализа области применения материалов для защиты от воды, замечено, что большая их часть используется для пошива верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Эксплуатация таких изделий происходит при температуре наружного воздуха от -5°C до $+10^\circ\text{C}$, при интенсивном обветривании ($2-3 \text{ м/с}$), воздействии дождя и иногда снега, при относительной влажности воздуха от 62 % до 89 % и высокой облачности [13].

Для оценки уровня паропроницаемости были исследованы образцы композиционных мембранных текстильных материалов, состоящих из двух слоев — текстильной тканой основы и полимерной мембраны, применяемые для изготовления водозащитной верхней одежды осенне-весеннего ассортимента. Характеристика исследуемых образцов представлена в таблице 1.

Все представленные в таблице 1 образцы обладают достаточно высоким уровнем водонепроницаемости и, согласно [6], могут быть использованы для изделий, защищающих от дождя, а некоторые (образцы № 1, № 2, № 5 и № 7) и от ливня.

Для реализации методики определения паропроницаемости в условиях близких к эксплу-

атационным в качестве параметров испытания были выбраны: температура наружного воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорость потока воздуха над образцами – 3 м/с , относительная влажность воздуха – 89% . Результаты исследований представлены в таблице 2.

Анализируя данные таблицы 2 можно сделать вывод, что степень расхождения данных незначительна, об этом свидетельствуют низкие значения коэффициента вариации [14]. Все исследуемые образцы соответствуют требованиям [8] по показателю паропроницаемость и могут использоваться для изготовления водонепроницаемой одежды. Тем не менее, наибольшей

способностью выводить испарения обладают образцы материалов с гидрофильной мембраной и текстильным слоем различных переплетений. Уровень паропроницаемости исследуемых образцов данной группы варьируется от $4609\text{ г}/(\text{м}^2\cdot 24\text{ч})$ до $6521\text{ г}/(\text{м}^2\cdot 24\text{ч})$. Микроклимат в пододёжном пространстве при эксплуатации (температура наружного воздуха $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$, скорости ветра – 3 м/с , относительная влажность воздуха – 89%) водозащитной одежды из таких материалов будет более комфортным для носчика. А использование образцов № 5 и № 7 позволит ещё обеспечить более высокий уровень защиты от атмосферных осадков поскольку

Таблица 1 – Характеристика исследуемых образцов

Номер образца	Поверхностная плотность, $\text{г}/\text{м}^2$	Вид переплетения текстильного слоя	Характеристика мембранного слоя	Толщина, мм		Водонепроницаемость, кПа
				общая	мембраны	
1	128	комбинированное	гидрофобный	0,26	0,14	100
2	152	саржевое	гидрофобный	0,24	0,13	160
3	134	комбинированное	гидрофобный	0,25	0,13	40
4	166	полотняное	гидрофобный	0,24	0,11	70
5	160	комбинированное	гидрофильный	0,22	0,10	150
6	187	полотняное	гидрофильный	0,26	0,07	40
7	139	комбинированное	гидрофильный	0,23	0,11	180
8	180	полотняное	гидрофильный	0,26	0,08	50

Таблица 2 – Результаты исследования

Номер образца	Паропроницаемость, $VP, \text{г}/(\text{м}^2\cdot 24\text{ч})$					Разброс, $\text{г}/(\text{м}^2\cdot 24\text{ч})$	Разброс, %	Стандартное отклонение, $\text{г}/(\text{м}^2\cdot 24\text{ч})$	Коэффициент вариации, %
	1	2	3	4	Среднее				
1	2368	2412	2398	2442	2405	74	3,08	30,75	1,28
2	3566	3485	3436	3605	3523	169	4,80	76,56	2,17
3	1802	1778	1744	1756	1770	58	3,28	25,56	1,44
4	3791	3800	3793	3896	3820	105	2,75	50,81	1,33
5	4602	4598	4595	4641	4609	46	1,00	21,53	0,47
6	6542	6511	6524	6507	6521	35	0,54	15,77	0,24
7	5012	4987	5057	4896	4988	161	3,23	67,83	1,36
8	6523	6466	6543	6452	6496	91	1,40	43,87	0,68

уровень водонепроницаемости этих материалов 150 **кПа** и 180 **кПа** соответственно.

Самой низкой паропроницаемостью 1770 **г/(м²·24ч)** обладает композиционный мембранный текстильный материал № 3, входящий в группу композитов с гидрофобным мембранным слоем и текстильным слоем комбинированного переплетения. У данного образца также наблюдается невысокое значение водонепроницаемости из числа рассматриваемых, это свидетельствует о его низкой защитной способности к проникновению атмосферных осадков. Наивысшее значение паропроницаемости 3820 **г/(м²·24ч)** наблюдается у образца № 4 из данной группы. В отличие от остальных представителей у образца № 4 толщина мембранного слоя меньше на 0,02–0,03 **мм** и равна толщине мембранного слоя представителя другой группы – образца № 7.

К рекомендуемым для изготовления комфортной для носчика водозащитной демисезонной одежды можно отнести композиционные мембранные текстильные материалы с гидрофильной мембраной, поскольку они обладают высоким уровнем паропроницаемости.

Показанный в статье подход к оценке паропроницаемости композиционных мембранных текстильных материалов позволяет обеспечить рациональный подбор материалов в пакет изделий легкой промышленности в соответствии с заданными требованиями.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
2. Абдуллин, И. Ш., Ибрагимов, Р. Г., Зайцева, О. В., Парошин, В. В. (2013), Современные методы изготовления композиционных мембран, *Вестник Казанского технологического университета*, 2013, № 9, С. 24–34.
3. Williams, J. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. Mukhopadhyay, A. A., Midha, V. K. (2008), Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, № 37, pp. 225–262.
5. Jeong, W. Y., An, S. K. (2001), The transport properties of polymer membrane-fabric

REFERENCES

1. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
2. Abdullin, I. Sh., Ibragimov, R. G., Zaitseva, O. V., Paroshin, V. V. (2013), Modern methods of manufacturing composite membranes [Sovremennyye metody izgotovleniya kompozitsionnyh membran], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2013, № 9, pp. 24–34.
3. Williams, J. (2018), *Waterproof and Water Repellent Textiles and Clothing*, UK, Woodhead Publishing, 590 p.
4. Mukhopadhyay, A. A., Midha, V. K. (2008), Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, № 37, pp. 225–262.

- composites, *Journal of Materials Science*, 2001, № 36, pp. 4797–4803.
6. William, C. (2018), *Smart Textile Coatings and Laminates, second edition*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 290 p.
 7. Ивашко, Е. И., Панкевич, Д. К. (2022), Паропроницаемость мембранных текстильных материалов в условиях, близких к эксплуатационным, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С. 47–52.
 8. ГОСТ Р 57514-2017. *Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия*, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
 9. Ивашко, Е. И. (2022), Методы исследования паропроницаемости, *Материалы VII Республиканской научно-технической конференции молодых ученых «Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования»*, Гомель, ИММС НАН Беларуси, 2022, С. 69–71.
 10. Бесшапошникова, В. И., Климова, Н. А., Бесшапошникова, Н. В., Ковалева, Н. Е. (2020), Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2020, № 6(390), С. 51–54.
 11. Gibson, P. W. (2000), Effect of Temperature on Water Vapor Transport Through Polymer Membrane Laminates, *Journal of Polymer Testing*, 2000, № 19 (6), pp. 673–691.
 12. Буркин, А. Н., [и др.] (2022), *Устройство для контроля паропроницаемости*, патент РБ № 13087, МПК G01N3/20, заявлено 2022.05.16, опубликовано 30.12.2022, Бюл. № 6.
 5. Jeong, W. Y., An, S. K. (2001), The transport properties of polymer membrane-fabric composites, *Journal of Materials Science*, 2001, № 36, pp. 4797–4803.
 6. William, C. (2018), *Smart Textile Coatings and Laminates, second edition*, Elsevier: Wood head Publishing Ltd, 290 p.
 7. Ivashko, E. I., Pankevich, D. K. (2022), Vapor permeability of membrane textile materials under conditions close to operational [Paropronicaemost' membrannyh tekstil'nyh materialov v usloviyah, blizkih k ekspluatsionnym], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2 (43), pp. 47–52.
 8. GOST R 57514-2017. *Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions*, introduced. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24p.
 9. Ivashko, E. I. (2022), Methods for the study of vapor permeability [Metody issledovaniya paropronicaemosti], *Materials of the VII Republican scientific and technical conference of young scientists "New functional materials, modern technologies and research methods"*, Gomel, IMMS NAS of Belarus, 2022, pp. 69–71.
 10. Besshaposhnikova, V. I., Klimova, N. A., Besshaposhnikova, N. V., Kovaleva, N. E. (2020), Influence of operational factors on the vapor permeability of membrane fabrics and clothing packages [Vliyanie ekspluatsionnyh faktorov na paropronicaemost' membrannyh tkanej i paketov odezhdy], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2020, № 6(390), pp. 51–54.
 11. Gibson, P. W. (2000), Effect of Temperature on Water Vapor Transport Through Polymer Membrane Laminates, *Journal of Polymer Testing*, 2000, № 19 (6), pp. 673–691.

13. Болотько, Л. М., Людчик, А. М., Умрейко, С. Д. (2021), Динамичные климатические нормы метеопараметров для г. Минска, *Природные ресурсы*, 2021, № 1, С. 5–14.
14. СТБ ИСО 5725-6-2002. *Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 6. Использование значений точности на практике*, введ. 01.07.2003, (2002), Минск, Госстандарта, 48 с.
12. Burkin, A. N., [et al.] (2022), *Ustrojstvo dlya kontrolya paropronicaemosti* [Vapor permeability control device], RB patent № 13087, IPC G01N3 /20, declared 2022.05.16, published 30.12.2022, Bull. № 6.
13. Bolotko, L. M., Ludchik, A. M., Umreiko, S. D. (2021), Dynamic climatic norms of meteoroparameters for Minsk [Dinamichnye klimaticheskie normy meteoroparametrov dlya g. Minska], *Prirodnye resursy – Natural Resources*, 2021, № 1, pp. 5–14.
14. STB ISO 5725-6-2002. *Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 6. Use of accuracy values in practice*, introduced. 07.01.2003, (2002), Minsk, Gosstandart, 48 p.

Статья поступила в редакцию 16.06.2023 г.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТИРОК НА АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНЕЙ ДЛЯ СПЕЦОДЕЖДЫ

EVALUATION OF THE EFFECT OF WASHINGS ON ANTISTATIC PROPERTIES OF FABRICS FOR WORKWEAR

УДК 677.017.855

В.Г. Марченко*, Д.Б. Рыклин

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-17-26>**V. Marchenko*, D. Ryklin**

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

СПЕЦИАЛЬНАЯ ОДЕЖДА, МНОГОКРАТНЫЕ СТИРКИ, АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, УДЕЛЬНОЕ ПОВЕРХНОСТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ, U-КРИТЕРИЙ МАННА – УИТНИ

Снижение электризуемости тканей для изготовления специальной одежды является актуальной задачей. Одним из способов снижения удельного поверхностного электрического сопротивления тканей является введение в их структуру антистатических нитей, содержащих металлические волокна. В условиях эксплуатации спецодежда подвергается различным воздействиям, таким как стирки. После многократных стирок одежда может терять свои первоначальные защитные свойства, что может подвергнуть риску жизнь и здоровье работника. Цель работы заключается в определении степени изменения антистатических свойств тканей для спецодежды после многократных стирок.

В процессе исследования определено удельное поверхностное электрическое сопротивление двух образцов тканей с различным расположением антистатических нитей с вложением 10 % стального волокна Bekinox до и после циклов стирок. В результате 20 стирок исследованные образцы тканей характеризуются низким значением удельного поверхностного электрического сопротивления, что позволяет считать их антистатическими. На основе применения критерия Манна – Уитни установлено, что изменение антистатических свойств после каждой

ABSTRACT

OVERALLS, REPEATED WASHINGS, ANTISTATIC PROPERTIES, SPECIFIC SURFACE ELECTRICAL RESISTANCE, MANN – WHITNEY U-CRITERION

Reducing the electrifiability of fabrics for the special clothing manufacture is an urgent task. One way to reduce the specific surface electrical resistance of fabrics is to introduce into their structure antistatic yarns containing metal fibers. Under operating conditions, overalls are subjected to various influences, such as washing. After repeated washes, clothing may lose its original protective properties, which may put the life and health of the worker at risk. The aim of the research is to determine the change in the fabrics antistatic properties for overalls after repeated washings.

During the study, the specific surface electrical resistance of two fabric samples with different arrangements of antistatic yarns was determined with an investment of 10 % Bekinox steel fiber before and after washing cycles. As a result of 20 washes, the studied fabric samples are characterized by a low value of the specific surface electrical resistance, which allows us to consider them antistatic. Based on the application of the Mann-Whitney criterion, it was found that the change in antistatic properties after each subsequent washing is statistically insignificant, however, there is an accumulation of minor changes in properties, as a result of which the specific surface resistance of fabrics increases almost monotonously. The results will make it possible to

* E-mail: veronika1300@mail.ru (V. Marchenko)

последующей стирки является статистически незначимым, однако имеет место накопление незначительных изменений свойств, в результате чего удельное поверхностное сопротивление тканей повышается практически монотонно. Полученные результаты позволяют прогнозировать изменение антистатических свойств в процессе эксплуатации спецодежды.

predict the change in antistatic properties during the use of workwear.

В настоящее время при изготовлении спецодежды все большее распространение получают антистатические ткани, использование которых позволяет повысить эффективность защиты от ряда профессиональных рисков, связанных с воздействием статического электричества. Такие ткани отличаются структурой, видом электропроводящего компонента, а также видом отделки, выбираемым с учетом условий эксплуатации изделий.

Наиболее важной физической характеристикой текстильного материала, обуславливающей возникновение и накопление зарядов на его поверхности, является его изолирующая способность, которая характеризуется величиной электрического сопротивления или электрической проводимостью. Известно, что электропроводность материалов зависит от многих факторов: от гигроскопических свойств, структуры и химического строения, наличия каких-либо веществ на их поверхности [1].

Требования к спецодежде для защиты от статического электричества приведены в ГОСТе 12.4.124-83. В соответствии с этим стандартом удельное поверхностное электрическое сопротивление для материалов, применяемых для спецодежды, не должно превышать 10^7 Ом .

Одним из способов снижения удельного поверхностного электрического сопротивления тканей является введение в их структуру антистатических нитей, содержащих металлические (стальные, медные и т. д.), углеродные и другие виды электропроводящих волокон или нитей.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением волокон из нержавеющей стали. Выпуск смешанной пряжи с вложением стальных волокон Bekinox в сочетании с

другими волокнами освоен на ОАО «Гронитекс». В работе [2] определялось минимальное количество волокон Bekinox в ткани, обеспечивающее заданный уровень антистатических свойств. Получена зависимость, описывающая влияние процентного содержания электропроводящего компонента на десятичный логарифм удельного поверхностного электрического сопротивления. С учетом колебаний электрофизических свойств текстильных полотен установлено минимальное допустимое содержание волокон Bekinox: 0,163 % в случае использования антистатической пряжи с вложением 10 % стальных волокон, если базовая ткань выработана из натуральных волокон, и 0,195 % при производстве синтетических тканей.

Проведенный анализ влияния различного процентного содержания стальных волокон Bekinox и углероднополиэфирных нитей Nega-Stat на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей для спецодежды показал, что даже при незначительном содержании в структуре тканей стального волокна Bekinox (менее 0,2 %) их можно считать антистатическими, так как они характеризуются удельным поверхностным электрическим сопротивлением менее 10^7 Ом [3]. Для образцов с содержанием нитей Nega-Stat сделан вывод о том, что для достижения требуемого антистатического эффекта необходимо существенно увеличить долю нитей в составе тканей.

Однако при проектировании тканей для спецодежды важно обратить внимание не только на достижение установленных значений нормируемых показателей в процессе их изготовления, но и на сохранение свойств на требуемом уровне при эксплуатации. Изнашивание тканей является сложным процессом, на который влияет мно-

жество факторов: волокнистый состав, структура исходных текстильных материалов, вид отделки, конструкция швейных изделий, условия эксплуатации. Степень влияния этих факторов при различных условиях эксплуатации изделий проявляется по-разному.

В процессе использования специальной одежды текстильные материалы подвергаются воздействию комплекса изнашивающих факторов. Наиболее частым фактором износа является воздействие стирок и светопогоды. На изменение свойств изделий в процессе стирок оказывают влияние механические воздействия (многократные деформации, истирание), температура и состав моющего раствора, особенности отжима, условия высушивания [4].

Чаще всего в исследованиях авторы определяют влияние стирок на физико-механические свойства тканей для спецодежды, таких как разрывная и раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию, устойчивость окраски и т.д. Например, в работе [5] определялась разрывная и раздирающая нагрузка, стойкость к истиранию текстильных материалов, применяемых для изготовления рабочей одежды, предназначенной для защиты от общих производственных загрязнений до стирок и после 1, 5, 10 стирок. С увеличением количества стирок данные показатели снижаются, однако сравнение результатов с ГОСТом 11209 показало, что все ткани соответствуют предъявляемым требованиям.

Влияние стирок на изменение защитных свойств исследуется также довольно часто. В работе [6] образцы тканей для спецодежды были подвергнуты 1, 5, 10, 15, 25, 50 стиркам, исходя из среднего количества стирок рабочих костюмов за 1 год. Исследуемые ткани подвергались процессу стирки в соответствии с ГОСТом 30157.0.95, ГОСТом 30157.1.95. После многократных воздействий были определены такие показатели защитных свойств, как огнестойкость, стойкость к прожиганию, показатель пылепроницаемости, маслоотталкивание. После многократных стирок показатель пылепроницаемости для части образцов увеличивался, стойкость к прожиганию после стирок уменьшалась, что связано с вымыванием из тканей специальной пропитки. Значения остальных показателей изменялись незначительно.

Очевидно, что количество циклов стирок оказывает влияние и на антистатические свойства тканей для спецодежды. В работе [7] исследовалось влияние многократных стирок на антистатические свойства тканей и трикотажных полотен с содержанием электропроводящих компонентов. Для образцов определялись удельное поверхностное электрическое сопротивление и эффективность экранирования до стирок и после пяти циклов стирки. Стирка и сушка проводились по стандарту EN ISO 6330: 2002. В результате проведенных исследований установлено, что испытанные ткани соответствуют требованиям стандарта EN 1149-5, однако удельное поверхностное электрическое сопротивление заметно снижается после 5-ти циклов стирки. Такая разница в значениях объясняется возможной потерей волокон нержавеющей стали после стирок.

В то же время представляет интерес оценка большего количества стирок по сравнению с количеством, регламентируемым действующими стандартами.

Целью данной работы являлось определение влияния количества циклов стирок, превышающих регламентируемое значение, на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей для спецодежды разной структуры с различным содержанием электропроводящих компонентов.

Для изучения влияния стирок на антистатические свойства тканей для спецодежды были использованы материалы производства ОАО «Моготекс». Данные ткани содержат в своем составе в качестве антистатической нити пряжу с вложением 10 % стального волокна Bekinox. Характеристика испытуемых образцов представлена в таблице 1.

Устойчивость антистатических свойств материалов к мокрым обработкам определяется по ГОСТу 11209-2014. Многократные стирки проводились в стиральной машине автоматической бытовой с горизонтальным расположением барабана. Для проведения испытания использовался стиральный порошок универсальный без отбеливателей, энзимов, усилителей, отдушек, антистатических и других дополнительных веществ. В состав стирального порошка входит:

– натуральное мыло – 30 % и более;

Таблица 1 – Характеристика образцов исследуемых тканей

Артикул	06С27-КВ	14С5-КВ
Поверхностная плотность, $г/м^2$	263	271
Переплетение	Саржа 2/2	Саржа 3/1
Состав без учета антистатической нити	хлопок – 74 %; полиэфирное волокно – 26 %	хлопок – 42 %; полиэфирное волокно – 58 %
Вид отделки	Масловодоотталкивающая, нефтемасловодоотталкивающая	
Расположение антистатической нити	Сетка, размер ячейки 10×10 мм	Расположение вдоль основы с шагом 10 мм

- сода – 60 % и более;
- лимонная кислота.

Глажение образцов проводилось непосредственно после отжима при использовании электрического утюга. Температура глажения ткани соответствовала виду используемого сырьевого состава. Далее образцы высушивались в сушильном шкафу и выдерживались в нормальных условиях в течение 24 ч.

Удельное поверхностное электрическое сопротивление образцов тканей определяется по ГОСТу 19616-74. Данный показатель определялся с помощью прибора ИЭСТП-2 в условиях Испытательного центра УО «ВГТУ». Образцы испытывались до стирок, с первой по десятую стирку после каждой, после 15-й и после 20-й стирки.

Результаты испытаний антистатических тканей представлены на рисунке 1.

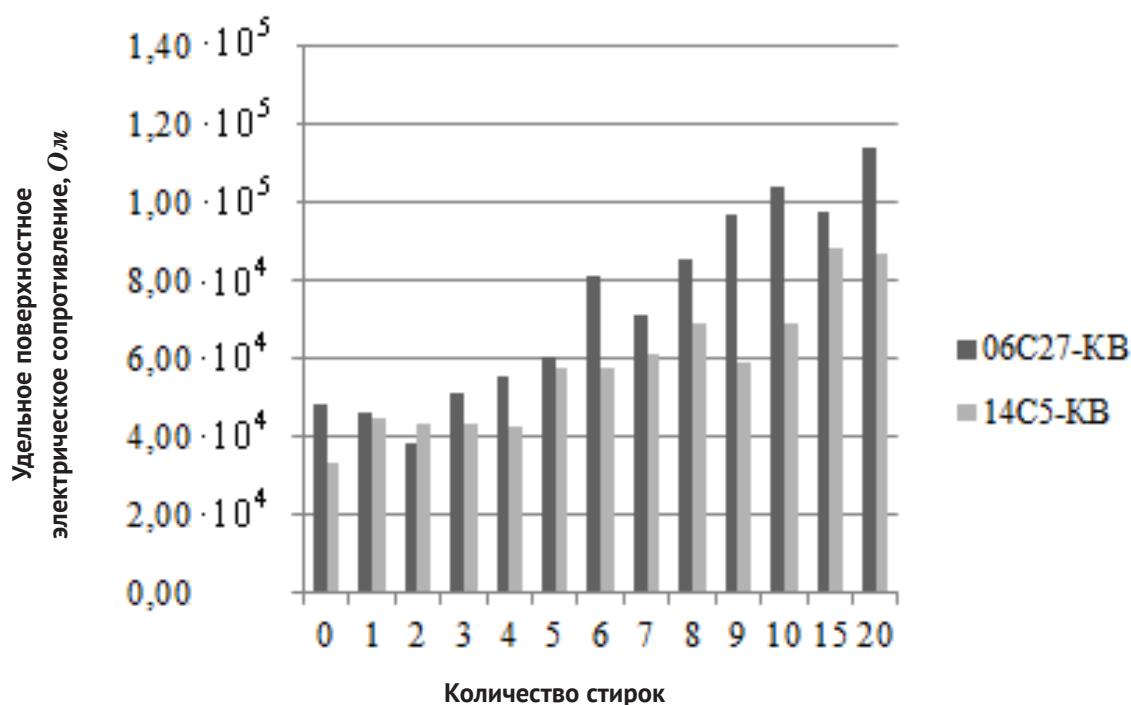


Рисунок 1 – Влияние количества стирок на удельное поверхностное электрическое сопротивление образцов антистатической ткани

На рисунке 1 можно заметить постепенное увеличение удельного поверхностного электрического сопротивления с увеличением числа стирок, что говорит о том, что антистатические свойства несколько снижаются. В соответствии с ГОСТом 11209-2014 испытание защитных свойств проводят после 5 ти-кратной стирки. Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что все образцы соответствуют нормируемому значению по данному показателю даже спустя количество стирок, значительно превышающее указанное в стандарте значение.

Важно обратить внимание на то, что показатель «удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей» характеризуется высокой вариативностью. В международном стандарте ГОСТ EN 1149-1-2018 «Одежда специальная защитная. Электростатические свойства. Часть 1. Метод испытания для измерения удельного поверхностного сопротивления» указывается на то, что применяемый метод дает расхождение результатов измерений между разными испытательными лабораториями вплоть до 10 раз, то есть до 1 порядка. Даже при испытании проб тканей в одной лаборатории разброс получаемых значений может быть существенным, максимальное значение показателя может превышать минимальное в несколько раз.

В связи с этим для правильной интерпретации полученных зависимостей необходимо осуществить оценку значимости установленных различий исследуемого показателя между стирками. Для этого используются различные критерии, например, t-критерий Стьюдента. Для применения данного критерия необходимо, чтобы выборочные средние имели нормальное распределение. Анализ получаемых экспериментальных данных показал, что закон распределения значений удельного поверхностного электрического сопротивления отличается от нормального и в некоторых случаях близок к равномерному (рисунок 2 а).

Также не вполне корректно применять t-критерий Стьюдента при наличии в данных значительного числа выбросов, которые имели место при проведении испытаний антистатических тканей.

При несоблюдении указанных условий при сравнении выборочных средних должны ис-

пользоваться аналогичные методы непараметрической статистики, среди которых наиболее известными являются U-критерий Манна – Уитни (в качестве двухвыборочного критерия для независимых выборок), а также критерий Уилкоксона (используются в случаях зависимых выборок).

Для оценки статистической значимости различий средних значений, получаемых в результате эксперимента данных в данной работе принято решение использовать U-критерий Манна – Уитни [8]. Метод, основанный на использовании U-критерия, определяет, насколько слабо перекрещиваются (совпадают) значения между двумя выборками. В его основе лежит упорядочивание (ранжирование) имеющихся значений по отношению друг к другу. Для применения U-критерия Манна – Уитни нужно произвести следующие операции:

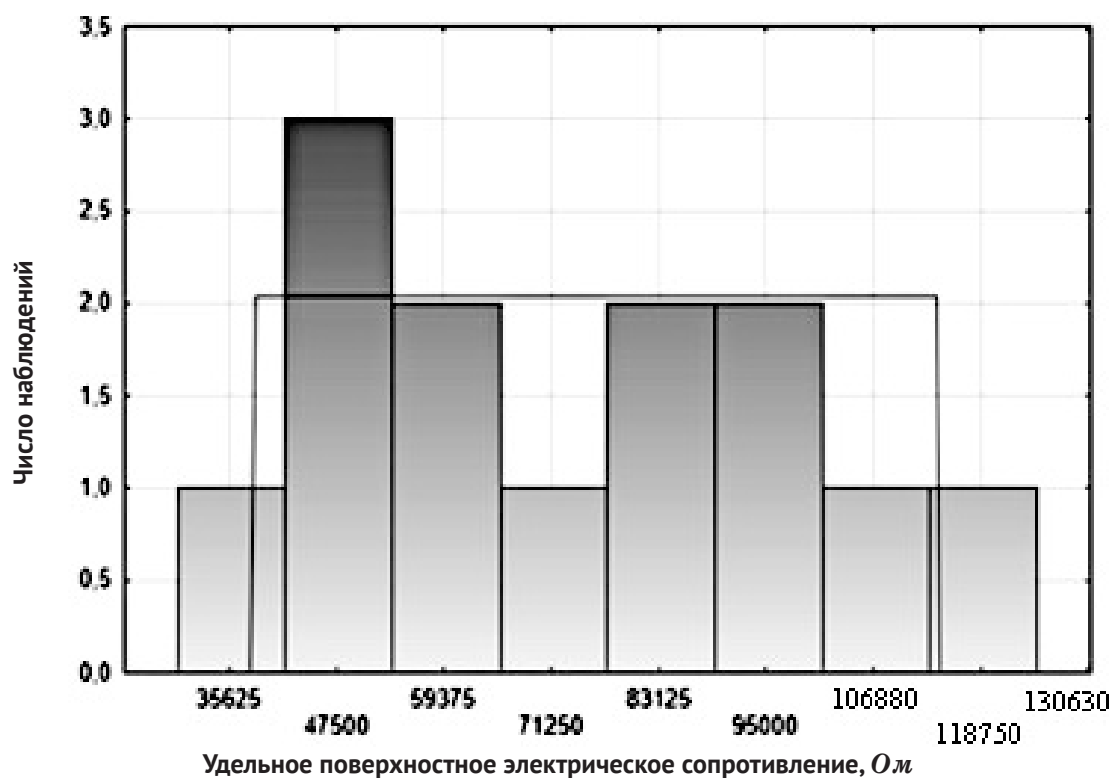
- составить единый ранжированный ряд из обеих сопоставляемых выборок, расставив их элементы по степени нарастания признака и приписав меньшему значению меньший ранг;
- разделить единый ранжированный ряд на два, состоящих соответственно из единиц первой и второй выборки. Подсчитать отдельно сумму рангов, пришедшихся на долю элементов первой выборки T_1 , и отдельно – на долю элементов второй выборки T_2 .

Числовое значение критерия определяется по следующей формуле:

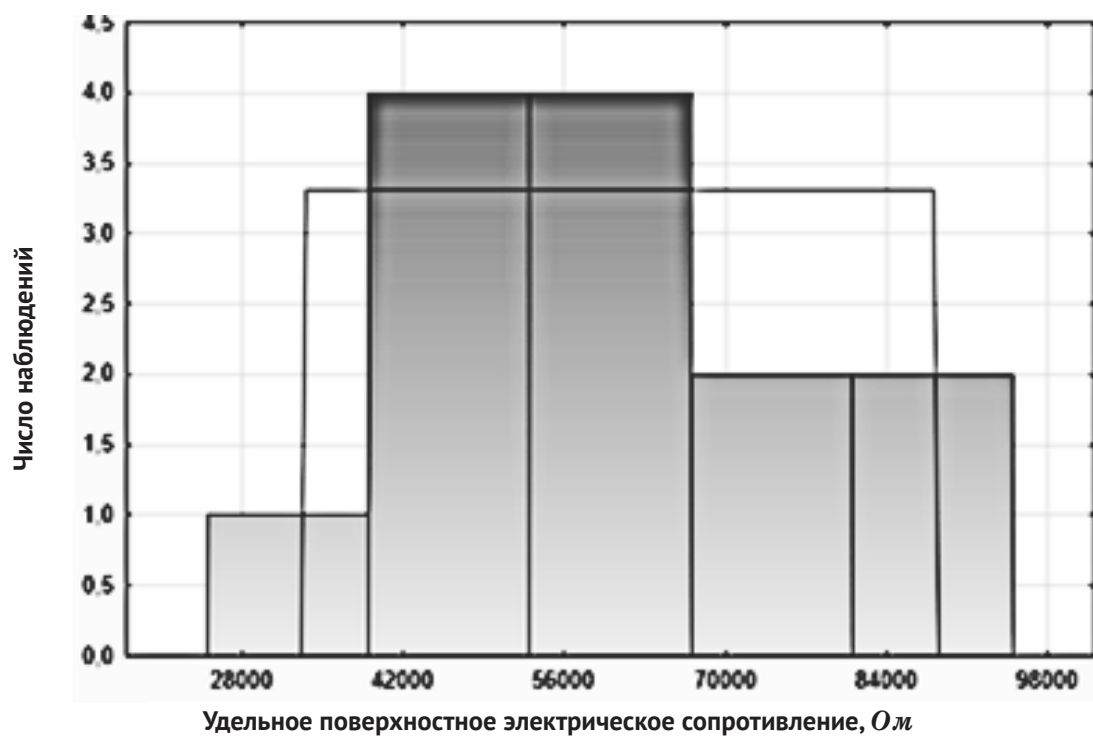
$$U = (n_1 \cdot n_2) + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x, \quad (1)$$

где n_1 и n_2 – количество элементов в первой и во второй выборке; n_x – количество вариантов в группе с большей суммой рангов; T_x – большая из сумм рангов для каждой из выборок.

По таблице критических значений распределения Манна – Уитни для избранного уровня статистической значимости определяется критическое значение критерия для данных n_1 и n_2 . Если полученное значение меньше или равно критическому, то в сравниваемых группах существует различие в распределении частот. Достоверность различий тем выше, чем меньше значение U-критерия. Так как для обоих образцов производилось по 20 измерений (по



а



б

Рисунок 2 – Распределение значений удельного поверхностного электрического сопротивления образцов тканей: а) артикул 06C27-KB; б) артикул 14C5-KB

ГОСТу 19617-74 испытания проводятся на 10 образцах тканей), критическое значение критерия $U_{кр} = 127$ при уровне значимости $p = 0,05$ [9].

Проанализировав результаты испытаний образцов исходных тканей с использованием критерия Манна – Уитни, можно отметить следующее. Несмотря на то, что среднее значение удельного поверхностного электрического сопротивления образца ткани артикула 06С27-КВ превышало значение указанного показателя образца ткани артикула 14С5-КВ почти в полтора раза, данное различие не является статистически значимым, так как значение U-критерия составило 136, что выше критического значения.

Далее определяем, насколько существенно значимыми являются различия антистатических свойств тканей между последовательными стирками от 1-ой до 10-ой, а также между 10-ой и 15-ой и между 15-ой и 20-ой стирками. Расчетные значения U-критерия представлены на рисунке 3.

Исходя из графика, представленного на рисунке 3, можно заметить, что различия исследуемого показателя между стирками оказались незначительными. Однако представляет интерес изучения вопроса о том, происходит ли накопление незначительных изменений в свойствах тканей, в результате которого установленные изменения становятся статистически значимыми. На рисунке 4 представлены графики расчетного значения изменения U-критерия, определенного при сопоставлении совокупностей единичных значений удельного поверхностного электрического сопротивления, полученных при испытаниях образцов исходных тканей и тканей после i-ой стирки.

Можно отметить, что для образца 06С27-КВ различия становятся статистически значимыми после 9-ой стирки ($U_9 = 92,5$), а для образца 14С5-КВ – после 5-ой стирки ($U_5 = 91$). Данные изменения не являются случайными, так как после следующих стирок значение U-критерия

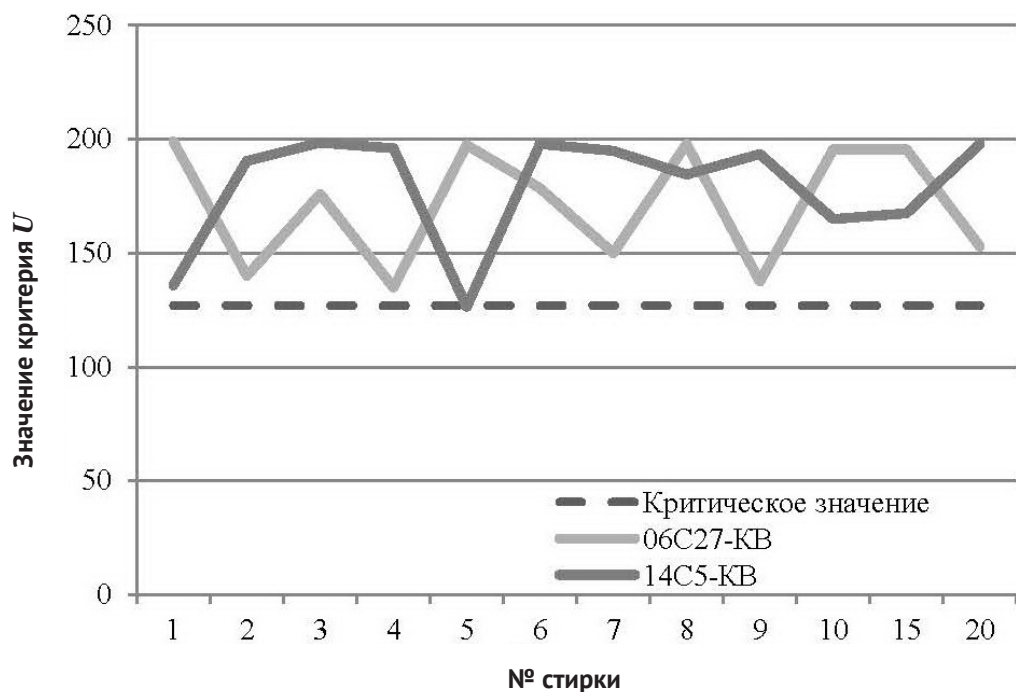


Рисунок 3 – Оценка значимости изменений удельного поверхностного сопротивления тканей между стирками

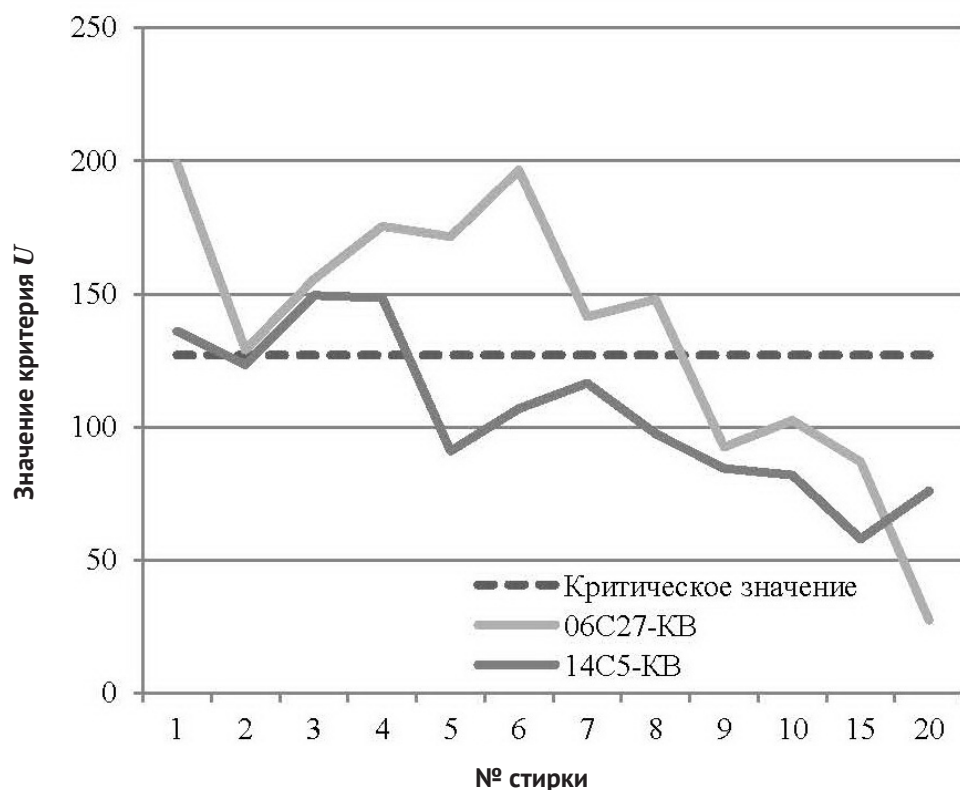


Рисунок 4 – Оценка накопленных изменений удельного поверхностного сопротивления тканей при многократных стирках

остаётся в зоне ниже критического значения.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. В результате 20 стирок образцы тканей, содержащих пряжу с вложением 10 % стального волокна Bekinox, характеризуются низким значением удельного поверхностного электрического сопротивления, что позволяет считать их антистатическими.

2. На основе применения критерия Манна – Уитни установлено, что изменение антистатических свойств после каждой последующей стирки является статистически незначимым, однако имеет место накопление незначительных изменений свойств, в результате чего удельное поверхностное сопротивление тканей повышается практически монотонно.

3. В образце 06C27-KB потеря антистатических свойств происходит быстрее, чем в образце 14C5-KB. Однако с учетом того, что ткани отличаются переплетением, расположением антистатической нити, а также сырьевым составом, причину установленных различий однозначно выявить не представляется возможным. В то же время применение указанного подхода на большем объеме экспериментального материала позволит более обоснованно делать заключения о влиянии состава и структуры на изменение удельного поверхностного электрического сопротивления тканей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гатиятуллина, Р. Ф., Бадрутдинова, А. Н. (2014), Влияние относительной влажности воздуха на антистатические свойства текстильных материалов, *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 18, С. 69–70.
2. Рыклин, Д. Б., Кветковский, Д. И. (2021), Определение влияния волокон Bekinox на удельное поверхностное электрическое сопротивление тканей, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2021, № 2 (41), С. 73–80.
3. Савочкина, В. Г., Рыклин, Д. Б. (2022), Оценка влияния электропроводящих компонентов на антистатические свойства тканей, России – творческую молодёжь, *Материалы XV Всероссийской научно-практической студенческой конференции*, Том 2, Камышин, 2022, С. 82–85.
4. Асланян, А. А. (2018), Исследование и разработка методик оценки физико-механических свойств текстильных материалов для строительных специальностей, *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук*, Москва, 2018, 16 с.
5. Тимошенко, А. Н., Шустов, Ю. С. (2022), Влияние количества стирок на механические свойства тканей для защиты от общих производственных загрязнений, Теория и практика экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции, *Сборник научных трудов по материалам II Круглого стола с международным участием*, Москва, 2022, С. 76–80.
6. Давыдов, А. Ф., Шампарова, Н. В. (2021), Влияние многократных стирок на основные показатели тканей специального назначения согласно ТР ТС 019/2011, Актуальные проблемы экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции текстильной и легкой промышленности, *Сборник*

REFERENCES

1. Gatiyatullina, R. F., Badrutdinova, A. N. (2014), Effect of relative humidity on antistatic properties textile materials [Vliyanie odnositel'noj vlazhnosti vozduha na antistaticheskie svoystva tekstil'nyh materialov], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2014, № 18, pp. 69–70.
2. Ryklin, D. B., Kvetkovsky, D. I. (2021), Determination of the effect of Bekinox fibers on the fabrics specific surface electrical resistance [Opredelenie vliyanija volokon Bekinox na udel'noe poverhnostnoe jelektricheskoe soprotivlenie tkanej], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2021, № 2 (41), pp. 73–80.
3. Savochkina, V. G., Ryklin, D. B. (2022), Evaluation of the effect of electroconductive components on fabrics antistatic properties [Ocenka vliyanija jelektoprovodjashhih komponentov na antistaticheskie svoystva tkanej], Russia – creative youth, *Materials of the XV All-Russian Scientific and Practical Student Conference*, Vol. 2, Kamyshin, 2022, pp. 82–85.
4. Aslanyan, A. A. (2018), Research and development of methods for evaluation of physical and mechanical properties of textile materials for construction specialties [Issledovanie i razrabotka metodik ocenki fiziko-mehaniicheskikh svoystv tekstil'nyh materialov dlja stroitel'nyh special'nostej], *Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical sciences*, Moscow, 2018, 16 p.
5. Tymoshenko, A. N., Shustov, Y. S. (2022), Effect of amount of washings on mechanical properties of fabrics for protection against general industrial contaminants [Vliyanie kolichestva stirok na mehanicheskie svoystva tkanej dlja zashhity ot obshhih proizvodstvennyh zagrjaznenij], Theory and practice of expertise,

трудов по итогам работы Круглого стола с международным участием, Москва, 2021, С. 33–38.

7. Varnaitė, S., Katunskis, J. (2009), Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 5 (76), pp. 69–75.
8. Аймаханова, А. Ш. (2015), U-критерий Манна – Уитни. Квантованный текст с заданиями в тестовой форме, *Педагогические измерения*, 2015, № 1, С. 104–109.
9. Statology. Mann-Whitney U Table, available at: <https://www.statology.org/mann-whitney-u-table/> (accessed 27 July 2023).
6. Davydov, A. F., Shamparova, N. V. (2021), Influence of multiple washing on the main indicators of fabrics of special purpose according to trts 019/2011 [Vlijanie mnogokratnyh stirok na osnovnye pokazateli tkanej special'nogo naznachenija soglasno TR TS 019/2011], Current problems of expertise, technical regulation and confirmation of conformity of textile and light industry products, *Collection of works on the results of the Round Table with international participation*, Moscow, 2021, pp. 33–38.
7. Varnaitė, S., Katunskis, J. (2009), Influence of Washing on the Electric Charge Decay of Fabrics with Conductive Yarns, *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 2009, № 5 (76), pp. 69–75.
8. Aimakhanova, A. S. (2015), Mann – Whitney U-test. Quantized text with tasks in test form [U-kriterij Manna – Uitni. Kvantovannyj tekst s zadaniyami v testovoj forme], *Pedagogicheskie izmerenija – Pedagogical measurements*, 2015, № 1, pp. 104–109.
9. Statology. Mann-Whitney U Table, available at: <https://www.statology.org/mann-whitney-u-table/> (accessed 27 July 2023).

Статья поступила в редакцию 21.08.2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТИ МЕМБРАННЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНЫХ СТРУКТУР

STUDY OF THE WATER AND VAPOR PERMEABILITY OF MEMBRANE MATERIALS OF DIFFERENT STRUCTURES

УДК 677.017.623

Д.К. Панкевич*, А.Ю. Мойсейчик

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-27-37>**D. Pankevich*, A. Moiseichik**

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

МЕМБРАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ, СТРУКТУРА, КОМФОРТ, ОДЕЖДА

Объектом исследования являются мембранные текстильные материалы различных структур. Правильный выбор структуры материала для конфекционирования оптимального пакета одежды является практически трудно решаемой задачей в связи с малой изученностью свойств мембранных материалов и отсутствием четких рекомендаций по области их применения.

Предметом исследования является водопаропроницаемость мембранных текстильных материалов как характеристика уровня комфортности одежды из них.

Цель работы – определение зависимости водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур от условий испытаний для формирования рекомендаций по области их применения.

В процессе работы выполнено исследование структуры (метод сканирующей электронной микроскопии) и водопаропроницаемости (метод Тейлора) материалов, проанализированы результаты и разработаны рекомендации по применению материалов, содержащих мембраны различных структур.

Результат работы – выявлено, что водопаропроницаемость мембранных материалов, имеющих гидрофобную пористую мембрану, при изменении разности давлений изменяется по степенному или по экспоненциальному закону, а материалов с гидрофильной непористой мем-

ABSTRACT

MEMBRANE MATERIALS, WATER AND VAPOR PERMEABILITY, STRUCTURE, COMFORT, CLOTHING

The water and vapor permeability index is one of the determinants of the level of comfort of clothing materials. The paper presents the results of investigation of water and vapor permeability of waterproofing membrane materials when changing the difference of partial pressures of water and vapor from both sides of the tested sample. In order to realize the purpose of the research, the structure of the materials was examined by scanning electron microscopy and their water and vapor permeability was examined by the Taylor's method. It was shown that among the studied objects, membrane materials with a hydrophobic porous membrane change their vapor permeability when the pressure gradient changes according to a power or exponential law, depending on the type of the porous structure, while materials with a hydrophilic non-porous membrane change their vapor permeability according to the logarithmic law. On the basis of the conducted research it is recommended to use materials with a mesh membrane structure for manufacturing waterproof clothes for sports and recreation activities. In clothes made of materials containing a hydrophobic porous membrane of a sponge structure it is necessary to provide ventilation holes in addition. Materials with a monolithic hydrophilic membrane can be used for making windbreakers and raincoats that are used in cool rainy weather by low activity wearers.

* E-mail: dashapan@mail.ru (D. Pankevich)

браной – по логарифмическому закону.

Рекомендовано материалы с мембраной сетчатой структуры применять для изготовления водозащитной одежды для спорта и активного отдыха, так как они способны поддерживать высокий уровень комфорта носчика даже при быстром изменении его активности. В одежде из материалов, содержащих гидрофобную пористую мембрану губчатой структуры для достижения комфорта носчика необходимо предусматривать вентиляционные отверстия. Материалы

с монолитной гидрофильной мембраной можно использовать для изготовления бытовых ветровок, плащей, штормовок, дождевиков. При этом зона комфорта для носки подобных материалов смещена в область низких значений разности парциальных давлений, которая характерна для прохладной и влажной погоды и низкой активности носчика.

Область применения результатов – швейная промышленность.

Тепловые ощущения человека в одежде являются субъективным показателем, однако, независимо от этого, при подборе одежды главной задачей для любого человека является достижение теплового комфорта в ней. Современные исследования в области создания функциональной терморегулирующей [1, 2, 3], водозащитной и влагоотводящей [4] и спортивной одежды [5] показывают, что текстильная наука далеко продвинулась в вопросе регулирования микроклимата пространства под одеждой. Однако по-прежнему актуальным является исследование свойств имеющихся на рынке текстильных материалов для одежды, способных обеспечивать комфорт носчика в конкретном диапазоне температурно-влажностных условий. Для производителей одежды очень важно понимание того, какие закономерности характеризуют процессы обмена между пододежным пространством и внешней средой в зависимости от применяемого в одежде пакета материалов. Ведь без этого немислим правильный выбор материалов.

Под действием тепла и холода у человека изменяются кровоснабжение кожи и подкожной клетчатки, их температура, а также температура венозной крови, что является главной причиной появления ощущений теплового дискомфорта. От того, как человек оценивает свое тепловое состояние, в значительной мере зависит его умственная и физическая работоспособность. При пребывании человека в покое или выполнении лёгких физических работ наблюдается достаточно высокая корреляция между объективными показателями теплового состояния и тепловыми ощущениями самого человека [6]. Человеческий

организм может рассматриваться как термостатированная биологическая система с внутренним источником тепла, находящимся в непрерывной связи с внешней средой. В нормальных условиях теплопродукция соответствует теплоотдаче и зависит от температуры и влажности воздуха, скорости его движения, энергозатрат человека. Колебания температуры тела происходят вследствие изменения этого соотношения. При этом в организме непрерывно происходит процесс терморегуляции путем изменения интенсивности обмена веществ (химическая терморегуляция) и за счет физических процессов, например, испарения (физическая терморегуляция) [7]. Если тепловой баланс нарушается и тело человека перегревается, срабатывает механизм физической терморегуляции и потоотделение существенно увеличивается. У одетого человека пакет материалов создает вокруг тела оболочку, которая тем комфортнее, чем больше она способна помогать работе механизмов терморегуляции.

Показатель водопаропроницаемости является одним из определяющих уровень комфортности водозащитных мембранных материалов для одежды, т. к. от значения этого показателя зависит, насколько эффективно будет удаляться влага из пододежного пространства при сохранении высокого уровня водонепроницаемости одежды.

В настоящее время существуют различные методики определения водопаропроницаемости, однако условия, создаваемые в процессе выполнения эксперимента, могут существенно отличаться, в связи с чем значения показателей

водопаропроницаемости варьируют в широком диапазоне. Наиболее распространен стандартный метод исследования – метод вертикально стоящей чаши или метод Тейлора [8]. Согласно методике проведения испытания, коэффициент водопаропроницаемости WVP (water vapour permeability), $г/(м^2 \cdot 24ч)$, определяется как количество пара, прошедшее через единицу площади исследуемого образца материала за 24 часа. В работах Ю.В. Светлова [8] показано, что коэффициент водопаропроницаемости, измеряемый методом Тейлора, не может однозначно и достоверно служить мерой оценки гигросвойств материала. Это характеристика процесса, происходящего под воздействием ряда внешних факторов, основными из которых являются физические и режимные параметры воздуха по обе стороны от исследуемого образца, в сочетании создающие определенный градиент парциальных давлений водяного пара [8]. Именно поэтому показатель водопаропроницаемости материала, исследуемый при каком-то одном установленном значении градиента не дает полной информации о способности материала выводить необходимое количество влаги из пододежного пространства наружу.

Испытание можно проводить при различных значениях парциальных давлений водяного пара по обе стороны от образца, что дает ценную информацию о способности материалов повышать уровень водопаропроницаемости при увеличении движущей силы этого процесса. При эксплуатации колебания парциальных давлений водяного пара внутри и снаружи одежды происходят непрерывно и в довольно широком диапазоне.

Водопаропроницаемость является ключевым показателем качества водозащитных материалов, содержащих в своей структуре мембранный и текстильные слои (далее – мембранные материалы). Поскольку мембранный полимерный слой является наименее проницаемым для водяного пара, все процессы переноса через такие материалы в большой степени обусловлены физикой процессов, происходящих в мембране.

По структуре все мембраны, используемые в производстве материалов для одежды, можно разделить на следующие группы: пористые, непористые, комбинированные. Непористые

мембраны вырабатывают из гидрофильных полимеров, пористые – из гидрофобных или гидрофильных полимеров. Комбинированные мембраны могут состоять из нескольких различных по структуре и гидрофильности слоев. В порах гидрофобной мембраны перенос вещества осуществляется конвективным потоком, в сплошном материале гидрофильной мембраны – диффузионным потоком.

С точки зрения процессов массопереноса в системе «человек – одежда – среда» должно иметь место вполне определенное соотношение между потоком со стороны источника, величина которого определяется скоростью потовыделения, и суммарным потоком на входе в мембрану, который, в свою очередь, определяется суммой динамической сорбции материала и фазовым переносом влаги по его пористой структуре.

Очевидно, что влажность в пододежном пространстве будет поддерживаться на заданном уровне (определяющем оценку теплоощущений «комфорт»), если поток от источника меньше или равен потоку на входе в мембрану. При нарушении этого условия, которое может быть связано либо с изменением внешних условий, либо с увеличением производительности источника, в системе будет формироваться новый градиент влажности по обе стороны от мембраны. Этот градиент должен адекватным образом компенсировать изменившиеся условия, вызывая повышение плотности потока, и восстановить условия «комфорта».

Такая компенсация может достигаться двумя способами: либо путем сорбционного «связывания» избыточного количества пара мембраной, либо увеличением фазового потока при переносе. Поскольку сорбционная емкость мембраны имеет конечное значение для каждого интервала влажности, естественно, что время, в течение которого этот вклад может выполнять свою роль, ограничено. После исчерпания этого ресурса, в системе остается лишь один путь удаления из пододежного пространства избыточного количества паров воды – перенос по системе транспортных пор. Эффективность этого пути удаления влаги также конечна и ограничена для каждого материала величиной градиента движущей силы процесса и новыми характеристиками пористости, изменившимся вследствие набуха-

ния сорбировавшего влагу полимера (если он гидрофилен).

Вполне вероятно, что в зависимости от типа входящей в состав материала мембраны будет наблюдаться определенная закономерность скорости изменения коэффициента водопропускной способности при изменении разности парциальных давлений водяного пара. Исследованиями влияния температуры и влажности воздуха на способность мембранных материалов пропускать пары воды занимались, в основном, за рубежом. Известны фундаментальные работы американских ученых Gibson P. W. [9] и Schreuder-Gibson H. [10], работающих в области создания одежды для военнослужащих, в которых показано, что мембранные материалы различных структур демонстрируют различную паропропускную способность при разных значениях разности парциальных давлений водяных паров. В работе чешских ученых A. Mazari и A. Havelka показано, что мембранные материалы, содержащие нано-пористые гидрофобные мембраны, имеют самую высокую способность к транспортированию водяного пара, за ними следуют материалы с гидрофобной микропористой мембраной, а затем – с гидрофильной мембраной. При этом для исследования авторами использованы три стандартные методики, основанные на методе Тейлора, но отличающиеся значени-

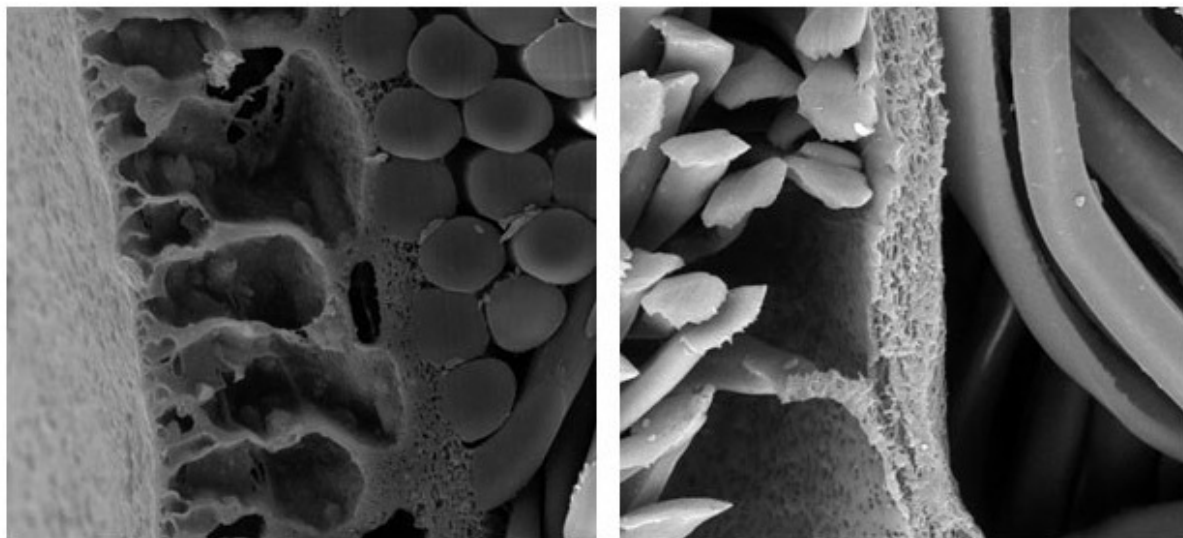
ем разности парциальных давлений, в которых для четырех образцов мембранных материалов различных структур получены согласованные по рангу ряды структурных типов материалов по убыванию значения коэффициента водопропускной способности [5]. Однако более или менее масштабных исследований, направленных на выявление общей закономерности этого явления для мембранных материалов определенных структурных типов, не проводилось.

Целью работы является определение зависимости водопропускной способности мембранных материалов различных структур от условий испытаний для формирования рекомендаций по области их применения.

Для проведения испытания были отобраны образцы двухслойных (2L) и трехслойных (3L) мембранных материалов, содержащих текстильный тканый (тк) или трикотажный (тр) слой и полиуретановые мембраны различных типов. Среди исследуемых образцов выделили группы, образцы в которых обладают сходством структуры содержащихся в них мембран. Характеристика образцов мембранных материалов представлена в таблице 1. Микрофотографии среза материалов каждого типа, полученные методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), представлены на рисунках 1 и 2.

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

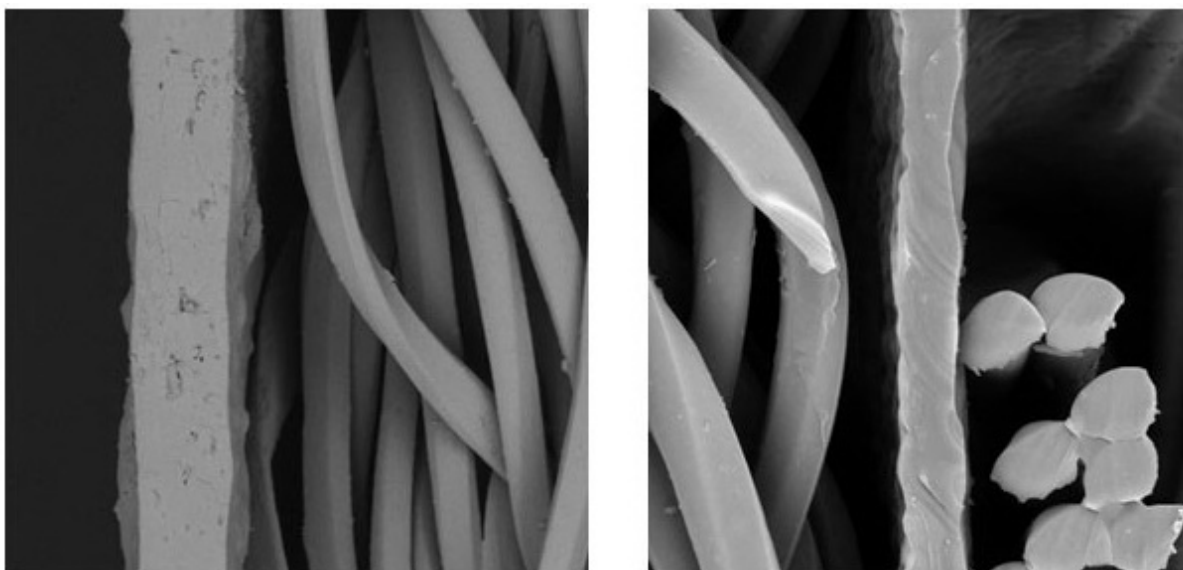
Номер образца / тип	Поверхностная плотность, г/м ²	Тип полиуретановой мембраны	Толщина слоев (по результатам СЭМ), мм	
			текстильных слоев	мембранного слоя
1 / 3Lтр	328	пористая сетчатая гидрофобная (рисунок 1)	1,02	0,02
2 / 3Lтр	305		0,54	0,04
3 / 3Lтр	274		0,62	0,03
4 / 2Lтр	134	монолитная гидрофильная (рисунок 2)	0,32	0,02
5 / 3Lтр	228		0,55	0,016
6 / 3Lтр	148		0,24	0,014
7 / 2Lтк	100		0,15	0,015
8 / 2Lтр	148	пористая губчатая гидрофобная анизотропная (рисунок 3)	0,12	0,02
9 / 2Lтк	160		0,13	0,05
10 / 2Lтк	109		0,11	0,07
11 / 2Lтк	142		0,16	0,01
12 / 2Lтк	133		0,16	0,01



а

б

Рисунок 1 – СЭМ поперечного среза образцов (x1800) с пористой мембраной: а) образец № 11 с губчатой гидрофобной мембраной; б) образец № 1 с сетчатой гидрофобной мембраной



а

б

Рисунок 2 – СЭМ поперечного среза образцов (x1800) с монолитной мембраной: а) образец № 4; б) образец № 5

В условиях лаборатории кафедры «Техническое регулирование и товароведение» УО «ВГТУ» проводили испытания образцов на водопаропроницаемость по методике, изложенной в ГОСТе Р 57514-2017. «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия» с корректировкой температурно-влажностных условий испытания.

Подготовленные образцы материалов размером $11,0 \times 11,0$ см помещали на чаши с водой и закрепляли при помощи герметичных прижимных пластин, имеющих отверстие диаметром 9,5 см. После чего чаши устанавливали на столик, оснащенный нагревательными элементами для подогрева чаш с водой. Регистрация изменения температур внутри чаш осуществлялась датчиками с помощью цифрового регистратора температуры производства EuroPribor. Испытания проводили с подогревом воды в чашах от $(33 \pm 1)^\circ\text{C}$ до $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ для создания необходимого градиента давлений. Чаши с установленными в них образцами взвешивали до и после испытания, по разнице значений массы чаш затем рассчитывали значения коэффициента водопаропроницаемости. Постоянную температуру и влажность наружного воздуха создавали при помощи климатической камеры. Разность парциальных давлений водяного пара ΔP , Па, рассчитывали онлайн при помощи специализированной программы-калькулятора, размещенной в открытом доступе [11], принимая допущение о том, что в чашах под образцами относительная влажность воздуха в момент установившегося режима испытаний составляет 100 %.

Результаты испытаний представлены в виде графиков изменения коэффициента водопаропроницаемости при изменении парциальных давлений водяного пара на рисунках 3, 4 и 5. Полученные в экспериментах данные обрабатывали с помощью табличного редактора Microsoft Excel. Ряды данных аппроксимировали линиями тренда, имеющими наибольшее значение достоверности аппроксимации R^2 (значение R^2 представлено на рисунках).

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод, что коэффициент водопаропроницаемости не является абсолютной величиной, характеризующей данный материал, его

значение может колебаться и зависит от всего комплекса создаваемых в процессе эксперимента условий. Поэтому при подборе материалов в пакет нового проектируемого изделия необходимо ориентироваться на значения показателя, полученные в ходе эксперимента в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным.

Водопаропроницаемость материалов с гидрофобной пористой мембраной сетчатой структуры изменяется по закону основной показательной (экспоненциальной) функции – возрастает сперва медленно, а после определенного значения градиента – очень быстро (рисунок 3). Это свойство позволяет материалам с сетчатой мембраной поддерживать высокий уровень комфорта носчика даже при быстром изменении его активности, поскольку излишки влаги при определенной разнице парциальных давлений пара быстро удаляются из пододежного пространства, возвращая системе «человек – одежда – окружающая среда» баланс. При этом на примере трех образцов при сопоставлении уравнений линий тренда и данных о толщине образцов (таблица 1) наблюдается следующая зависимость: материал с наименьшей общей толщиной обладает наибольшим значением темпового параметра уравнения (коэффициента при x). То есть, чем тоньше материал, тем быстрее будет нарастать скорость увеличения его паропрооницаемости. Вблизи верхней границы изучаемого диапазона ΔP материалы с мембраной сетчатой структуры демонстрируют наиболее высокий уровень водопаропроницаемости, что согласуется с данными А. Mazari и А. Havelka, в работе которых такая структура мембраны обозначена как нано-пористая. Материалы с мембраной сетчатой структуры можно применять для изготовления водозащитной одежды для спорта и активного отдыха.

Для материалов с монолитной гидрофильной мембраной характерен логарифмический закон изменения водопаропроницаемости – ошутимое возрастание функции наблюдается на небольшом начальном участке, а далее происходит снижение скорости изменения водопаропроницаемости, функция возрастает, но медленно (рисунок 4). Такая закономерность указывает на узкий диапазон комфортных условий носки одежды из материалов с мембранами подоб-

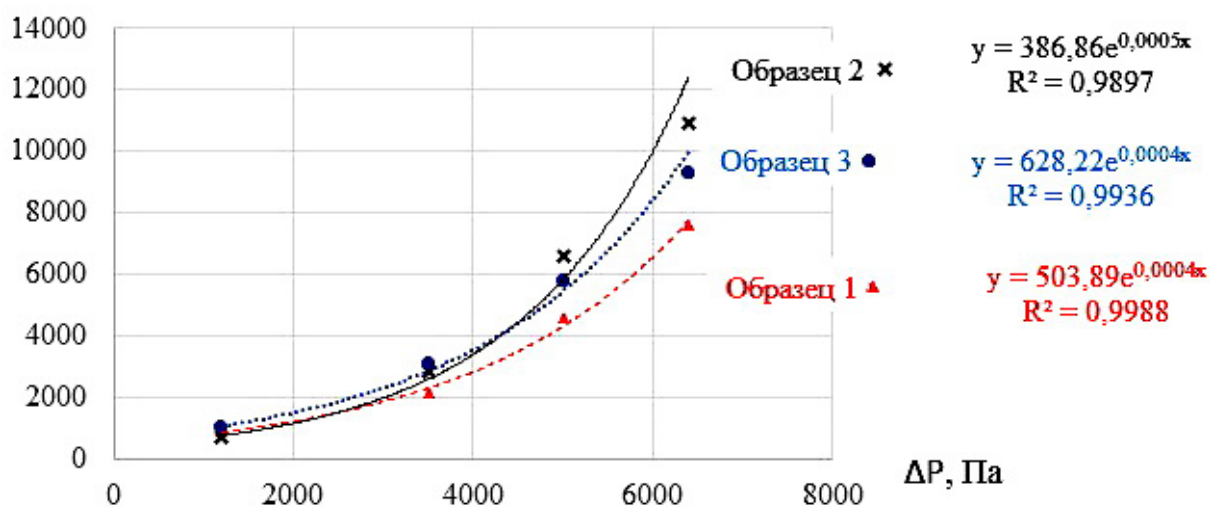
Водопаропроницаемость образцов с сетчатой гидрофобной мембраной, г/м²·24 ч

Рисунок 3 – Графики зависимости водопаропроницаемости от разности парциального давления водяных паров для образцов № 1–3

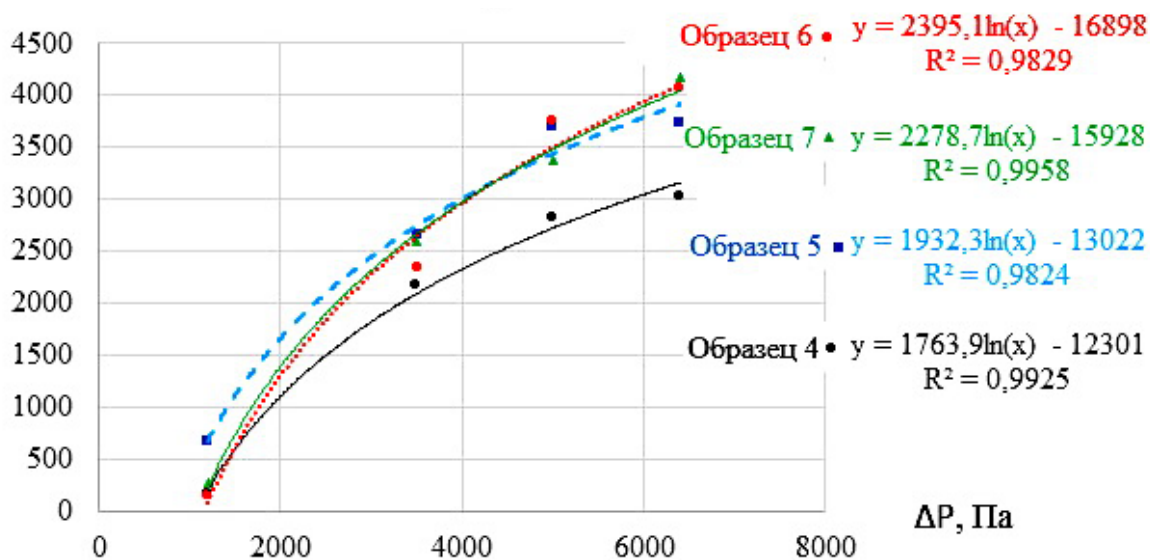
Водопаропроницаемость образцов с монолитной гидрофобной мембраной, г/м²·24 ч

Рисунок 4 – Графики зависимости водопаропроницаемости от разности парциального давления водяных паров для образцов № 4–7

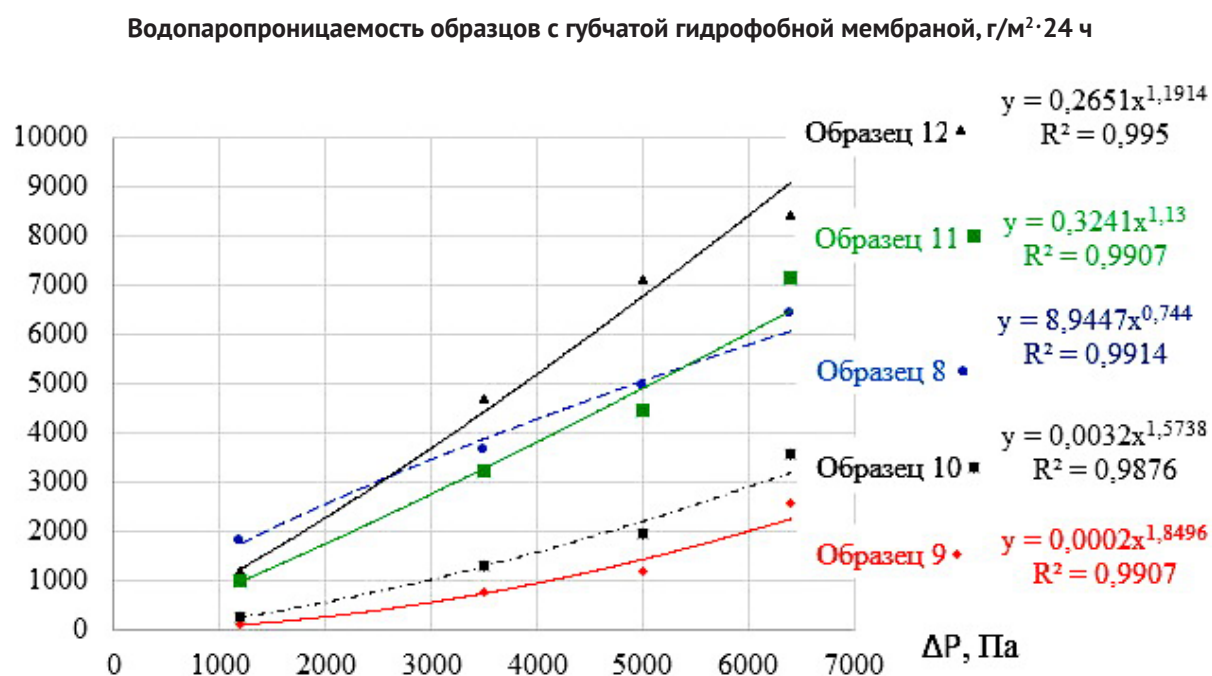


Рисунок 5 – Графики зависимости водопаропроницаемости от разности парциального давления водяных паров для образцов № 8–12

ных структур, так как скорость возрастания водопаропроницаемости существенно отстает от скорости возрастания ΔP при изменении теплопродукции носчика. Как и авторы исследования [5], мы также пришли к выводу о том, что материалы с гидрофильной мембраной обладают наименьшим уровнем паропроницаемости из всех исследуемых образцов. При этом, чем толще мембрана, тем ниже значение водопаропроницаемости. Материалы с монолитной гидрофильной мембраной можно использовать для изготовления бытовых ветровок, плащей, штормовок, дождевиков. При этом зона комфорта для носки подобных материалов смещена в область низких значений ΔP – такая разница характерна для прохладной и влажной погоды и низкой активности носчика.

У мембранных водозащитных материалов, содержащих гидрофобную пористую мембрану губчатой структуры, водопаропроницаемость изменяется по закону степенной функции с положительным дробным показателем – монотонно

возрастает на всем промежутке исследуемого диапазона ΔP . У таких материалов степень комфортности будет определяться соответствием начального значения коэффициента водопаропроницаемости уровню активности носчика. Чем быстрее носчик будет изменять свой уровень активности, тем меньше вероятность его комфортного состояния. В одежде из материалов подобной структуры важно минимизировать резкие перепады активности, поскольку способность материала к транспортировке влаги наружу нарастает равномерно. Еще одним решением является проектирование регулируемых вентиляционных элементов (в боковых швах курток, в швах соединения кокеток). В случае повышенной активности носчик может открыть вентиляционное отверстие, и излишки влаги удалятся быстрее. Подобные элементы, безусловно, повышают стоимость одежды, снижают ее водозащитные свойства, нервируют некоторых носчиков, но без них водозащитная одежда из материалов, содержащих гидрофобную пористую мембрану

губчатой структуры, будет менее комфортной.

Для определения наиболее информативных для исследователя условий испытаний представляет интерес сравнение показателей водопаропроницаемости, полученных при различных значениях ΔP , всех исследуемых образцов.

В таблице 2 представлен анализ коэффициента водопаропроницаемости, рассчитанного по полученным закономерностям в условиях, сопоставимых по значению ΔP с различными стандартными методиками. Справа в таблице показан ранг материалов в ряду возрастающих значений коэффициента водопаропроницаемости, при этом наименьший уровень водопаропроницаемости соответствует рангу 1, наибольший – рангу 12.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что различия в скорости увеличения водопаропроницаемости при увеличении ΔP приводят к тому, что ранжирование материалов по уровню коэффициента водопаропроницаемости не всегда совпадает для разных условий испытаний. При этом есть образцы, ранг которых мало изменяется. А для некоторых образцов ранг изменяет-

ся очень существенно, как в случае с образцом № 1. Следовательно, для оценки уровня водопаропроницаемости материалов, содержащих мембраны, недостаточно проводить эксперимент при какой-то одной ΔP , это может привести к неверной интерпретации результатов.

В результате выполненной работы выявлено, что водопаропроницаемость мембранных материалов, имеющих гидрофобную пористую мембрану, при изменении разности давлений изменяется по степенному или по экспоненциальному закону, а материалов с гидрофильной непористой мембраной – по логарифмическому закону.

Поэтому рекомендовано материалы с мембраной сетчатой структуры применять для изготовления водозащитной одежды для спорта и активного отдыха, так как они способны поддерживать высокий уровень комфорта носчика даже при быстром изменении его активности. В одежде из материалов, содержащих гидрофобную пористую мембрану губчатой структуры, для достижения комфорта носчика необходимо предусматривать вентиляционные отверстия.

Таблица 2 – Коэффициент водопаропроницаемости образцов при различных значениях ΔP

Номер образца / тип	Коэффициент водопаропроницаемости, $WVP, \text{г}/(\text{м}^2 \cdot 24 \text{ч})$, при различных значениях ΔP			Ранг образца по возрастанию WVP при значениях ΔP		
	$\Delta P = 2168 \text{ Па}$ (условия по ИСО 15496:2004)	$\Delta P = 3093 \text{ Па}$ (условия по ИСО 11092)	$\Delta P = 6638 \text{ Па}$ (условия по JIS L 1099(A1))	$\Delta P = 2168 \text{ Па}$	$\Delta P = 3093 \text{ Па}$	$\Delta P = 6638 \text{ Па}$
1 / 3Лтр	1144	1816	10690	3	4	12
2 / 3Лтр	1495	2165	8938	6	6	10
3 / 3Лтр	1199	1736	7169	4	3	9
4 / 2Лтр	1249	1875	3222	5	5	2
5 / 3Лтр	1821	2508	3983	9	9	4
6 / 3Лтр	1500	2351	4180	7	7	6
7 / 2Лтк	1576	2386	4126	8	8	5
8 / 2Лтр	2714	3535	6240	12	11	7
9 / 2Лтк	296	571	2346	1	1	1
10 / 2Лтк	569	996	3313	2	2	3
11 / 2Лтк	1907	2850	6754	10	10	8
12 / 2Лтк	2500	3818	9484	11	12	11

Материалы с монолитной гидрофильной мембраной можно использовать для изготовления бытовых ветровок, плащей, штормовок, дождевиков, которые эксплуатируются в прохладную и влажную погоду при низкой активности носчика.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Leqi, L., Shuo, S., Dong, W., Shuo, M., Jian-Guo, D., Shaohai, F., Jinlian, H. (2023), Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives, *ACS Nano*, 2023, № 17 (3), pp. 1803–1830.
2. Yongfang, C., Fengxian, Q., Dongya, Y., Yuqi, L., Hui, L., Tao, Z. (2022), Multifunctional Hybrid Membranes with Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications, *ACS Applied Energy Materials*, 2022, 5 (9), pp. 11892–11899.
3. Jinhao, X., Xuanxuan, D., Binjie, X., Chiwei, K., Yaqian, X., Zhuoming, C., Mengjuan, Z., Qingshuai, Y. (2021), Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2021, № 13 (22), pp. 26590–26600.
4. Dongyang, M., Zhan, H., Xianfeng, W., Jianyong, Y., Bin, D. (2018), Continuous, Spontaneous, and Directional Water Transport in the Trilayered Fibrous Membranes for Functional Moisture Wicking Textiles, *Small*, 2018, № 14(32).
5. Mazari, A., Havelka, A. (2020), Comparison of textile membranes for moisture transport, *Fibres and Textiles*, 2020, № 5, pp. 24–31.
6. Тимофеева, Е. И., Федорович, Г. В. (2005), *Экологический мониторинг параметров микроклимата*, Москва, 2005, 194 с.

REFERENCES

1. Leqi, L., Shuo, S., Dong, W., Shuo, M., Jian-Guo, D., Shaohai, F., Jinlian, H. (2023), Recent Advances in Thermoregulatory Clothing: Materials, Mechanisms, and Perspectives, *ACS Nano*, 2023, № 17 (3), pp. 1803–1830.
2. Yongfang, C., Fengxian, Q., Dongya, Y., Yuqi, L., Hui, L., Tao, Z. (2022), Multifunctional Hybrid Membranes with Enhanced Heat Dissipation and Sweat Transportation for Wearable Applications, *ACS Applied Energy Materials*, 2022, 5 (9), pp. 11892–11899.
3. Jinhao, X., Xuanxuan, D., Binjie, X., Chiwei, K., Yaqian, X., Zhuoming, C., Mengjuan, Z., Qingshuai, Y. (2021), Moisture-Wicking and Solar-Heated Coaxial Fibers with a Bark-like Appearance for Fabric Comfort Management, *ACS Applied Materials & Interfaces*, 2021, № 13 (22), pp. 26590–26600.
4. Dongyang, M., Zhan, H., Xianfeng, W., Jianyong, Y., Bin, D. (2018), Continuous, Spontaneous, and Directional Water Transport in the Trilayered Fibrous Membranes for Functional Moisture Wicking Textiles, *Small*, 2018, № 14(32).
5. Mazari, A., Havelka, A. (2020), Comparison of textile membranes for moisture transport, *Fibres and Textiles*, 2020, № 5, pp. 24–31.
6. Timofeeva, E. I., Fedorovich, G. V. (2005), *Ekologicheskiy monitoring parametrov mikroklimata* [Ecological monitoring of microclimate parameters], Moscow, 2005, 194 p.

7. Колесников, П. А. (1971), *Основы проектирования теплозащитной одежды*, Москва, 1971, 112 с.
8. Светлов, Ю. В. (2006), *Термовлажностные процессы в материалах и изделиях легкой промышленности*, Москва: Академия, 2006, 272 с.
9. Schreuder-Gibson, H. (2008), Self-Detoxifying Materials for Chemically and Biologically Protective Clothing, *US Army Natick Soldier Research, Development, and Engineering Center Technical Report*, Natick/TR-08 L, 2008, Vol. 8, pp. 2008.
10. Gibson, P. W. (1999), Water vapor transport and gas flow properties of textiles, polymer membranes, and fabric laminates, *Journal of Coated Fabrics*, 1999, Vol. 28, № AVR, pp. 300–327.
11. Калькулятор для расчета парциального давления водяного пара (2023), режим доступа: <https://gidrotgv.ru/raschet-parcialnogo-davleniya-nasyshhennogo-vodyanogo-para/>, (дата доступа 20.05.2023).
7. Kolesnikov, P. A. (1971), *Osnovy proektirovaniya teplozashhitnoj odezhdy* [Fundamentals of heat protection clothing design], Moscow, 1971, 112 p.
8. Svetlov, Ju. V. (2006), *Termovlazhnostnye processy v materialah i izdelijah legkoj promyshlennosti* [Thermal-moisture processes in materials and products of light industry], Moscow, 2006, 272 p.
9. Schreuder-Gibson, H. (2008), Self-Detoxifying Materials for Chemically and Biologically Protective Clothing, *US Army Natick Soldier Research, Development, and Engineering Center Technical Report*, Natick/TR-08 L, 2008, Vol. 8, pp. 2008.
10. Gibson, P. W. (1999), Water vapor transport and gas flow properties of textiles, polymer membranes, and fabric laminates, *Journal of Coated Fabrics*, 1999, Vol. 28, № AVR, pp. 300–327.
11. Kal'kuljator dlja rascheta parcial'nogo davlenija vodjanogo para [Calculator for calculating the partial pressure of water vapor], (2023), available at: <https://gidrotgv.ru/raschet-parcialnogo-davleniya-nasyshhennogo-vodyanogo-para/> (accessed 20.05.2023).

Статья поступила в редакцию 04.07.2023 г.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ

STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS WITH A WOOD DUST FILLER

УДК 685.34.082

**А.Н. Радюк^{1*}, А.Н. Буркин¹, В.М. Шаповалов²,
С.В. Зотов², А.А. Тимофеев²**

¹Витебский государственный технологический университет

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-38-49>

**A. Radyuk^{1*}, A. Burkin¹, V. Shapovalov², S. Zotov²,
A. Timofeev²**

¹Vitebsk State Technological University

²V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute

РЕФЕРАТ

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, РЕЦИКЛИНГ, ОТХОДЫ, ПЕНОПОЛИУРЕТАН, ДРЕВЕСНАЯ ПЫЛЬ, ТЕХНОЛОГИЯ, СОСТАВЫ, СВОЙСТВА, СТРУКТУРА

В настоящее время для получения новых композиционных материалов с определенным комплексом свойств эффективным направлением считается переработка отходов на основе различных древесных наполнителей и термопластичных полимеров.

Целью исследования является определение возможности применения измельченных древесных отходов (древесной пыли) в качестве наполнителя в полиуретановую основу для создания материалов для подошв обуви.

В статье приведено описание технологии получения гранулята и материалов, представлены различные рецептурные составы для получения материалов для подошв обуви. Получены композиционные материалы с использованием в качестве наполнителя древесной пыли в количестве 1–5,0 мас. %, исследованы физико-механические показатели свойств и представлены данные СЭМ-среза образцов.

Введение наполнителя позволяет рационально использовать отходы лесопиления и фрезерования плит, значительно удешевить композицию, получить приемлемые прочностные характеристики при максимальном наполнении.

ABSTRACT

COMPOSITE MATERIALS, RECYCLING, WASTE, POLYURETHANE FOAM, WOOD DUST, TECHNOLOGY, COMPOSITIONS, PROPERTIES, STRUCTURE

Currently, the processing of waste materials based on various wood fillers and thermoplastic polymers is considered to be an effective direction for producing new composite materials with a certain complex of properties.

The aim of the study is to determine the possibility of using pulverized wood waste (wood dust) as a filler in polyurethane base for creating materials for shoe soles.

The article describes the technology of producing granulate and materials, presents various formulation compositions for materials used for shoe soles manufacturing. Composite materials containing wood dust in the amount of 1–5.0 wt.% as a filler were produced, physical and mechanical properties were investigated and SEM data of the samples' shearing were presented.

Addition of the filler allows to use rationally the wastes of sawing and milling, to cheapen considerably the composition, to receive acceptable strength characteristics at maximum filling.

Using the wastes of various productions for making new products, it is possible to partially reduce environmental pollution and increase the utilization rate of expensive raw materials which are not produced in Belarus.

* E-mail: ana.r.13@mail.ru (A. Radyuk)

Используя отходы различных производств для получения новых изделий, можно частично сократить загрязнение окружающей среды и

увеличить коэффициент использования дорогостоящих не производимых в Беларуси сырьевых ресурсов.

Введение

Одно из ведущих направлений в современной науке о полимерах занимает модифицирование полимеров с целью придания им заранее заданных свойств. Современные полимерные материалы являются многокомпонентными системами, в которых наряду с полимерной основой присутствуют различные добавки [1].

Для создания новых композиционных материалов эффективным направлением считается переработка отходов на основе различных древесных наполнителей и термопластичных полимеров. Путем варьирования рецептур композиций получают материалы с определенным комплексом физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Высокая механическая прочность древесных наполнителей при малом объемном весе, низкие электризуемость и теплопроводность, упругость и волокнистая структура обусловили их широкое применение в производстве полимерных композиционных материалов. Из древесных дисперсных наполнителей наибольшее распространение получили древесная волокнистая масса в виде древесной пыли, представляющая собой тонкоизмельченную и высушенную древесину волокнистой структуры.

Древесная пыль относится к легким органическим наполнителям растительного происхождения. Являясь материалом местного сбора и изготовления, древесная пыль по применению является экономически выгодным отходом производства. Это обусловлено наличием достаточных объемов, как самой древесной пыли, так и древесных отходов лесопиления и деревообработки. Ее дешевизна и очень высокие тиксотропные свойства идеальны для применения ее в качестве наполнителя для многих материалов.

Применение предлагаемого способа использования древесной пыли обеспечит экологический эффект, который заключается в высвобождении площадей, ранее используемых под ее складирование; исключении рассеивания пыли

на прилегающие к предприятию территории, как промышленного, так и жилого назначения [2].

Большое число исследований в этой области посвящено изучению возможности применения измельченных древесных отходов [3]. Особый раздел в данной области научных исследований занимает изучение реологических свойств композиционных материалов, в которых в качестве наполнителя используется древесная пыль [4]. Наибольший интерес представляют исследования влияния основных характеристик компонентов композита: вид, влажность, размер частиц, процентное соотношение содержания компонента относительно всей композиции.

Целью исследований в данной работе является определение возможности применения измельченных древесных отходов (древесной пыли) в качестве наполнителя в полиуретановую основу для создания материалов для подошв обуви.

Материалы и методы исследования

В качестве основного компонента композитов использовали вторичное полимерное сырье – отходы пенополиуретана (ППУ) обувных предприятий г. Витебска (ЧПУП «Обувное ремесло»).

Для подготовки композиционных материалов разработана технологическая схема получения гранулята, состоящая из следующих операций:

- подготовка отходов ППУ;
- измельчение отходов ППУ в дробилке роторно-ножевого типа до размеров частиц 10–15 *мм*;
- сушка в сушильной камере или термошкафу с принудительной конвекцией воздуха при температуре 80 °С в течение 3 часов до влажности 0,2–0,3 %;
- термомеханическая переработка в двухшнековом экструдере SUPLAST 25/2 *мм* (ООО «СуПласт», РБ) при температуре переработки 110–185 °С и скорости вращения шнека 50–70 *об/мин* с получением стренг диаметром 3 *мм*;
- охлаждение стренг в водяной ванне;

– резка стренг с помощью режущего устройства до получения гранул длиной 2–4 *мм*.

С целью повышения технологичности переработки композиций применяли следующие ингредиенты: масло трансмиссионное TAD17 (МИ, ТУ 0253-003-71148628-2005) и стеарат кальция (стСа, ТУ 2232-002-57149839-07) в количестве 0,5–5,0 мас. %.

В качестве наполнителей использовали отходы деревообработки: древесную пыль (ДП) с размером частиц 8–78 *мкм* в количестве 1,0–5,0 мас. %.

Далее методом экструзии из гранулята, содержащего технологические добавки и дисперсный наполнитель, формировали композиционные материалы. Предполагается, что этот наполнитель выступает в роли структурирующих (т. е. модифицирующих матрицу) агентов, что должно способствовать изменению физико-механических и других характеристик композитов. Составы и режимы получения композиционных материалов представлены в таблице 1.

Образцы для исследования получали методом литья под давлением механических смесей компонентов при технологических режимах, характерных для исходных ПУ. Окончательная гомогенизация композиции осуществлялась в ма-

териальном цилиндре термопластавтомата «ТП EN30» (Hengsen, Китай). Из полученных композиционных материалов на термопластавтомате при температуре 170–190 °С были изготовлены образцы в виде лопаток, столбиков и пластин.

При выборе материалов для подошв обуви предприятия-производители рассматривают комплекс их физико-механических свойств. В связи с этим в работе были выделены следующие показатели физико-механических свойств материалов и деталей для низа обуви: плотность, твердость, абразивный износ, относительное удлинение, предел прочности и модуль упругости. Характеристика показателей свойств материалов для низа обуви и методика их оценки представлена в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Сегодня известны различные классификации материалов для низа обуви: по назначению, цвету, условиям эксплуатации, виду изделий и т. д. При этом классификация материалов для подошв обуви по структуре материала представляется наиболее предпочтительной, поскольку именно этот фактор является определяющим при характеристике основных потребительских свойств подошвы. Классифицируя материалы для подошв и подошвы обуви по признаку

Таблица 1 – Составы и режимы получения композиционных материалов

№ п/п	Составы композиций, мас. %	Температура в экструдере по зонам, °С	Крутящий момент, $M_{кр}, Н \cdot м$
1	ППУ гранулят	125, 140, 150, 160, 170, 160	–
2	ППУ (98,5) + стСа (0,5) + МИ (1)	125, 140, 150, 160, 170, 160	9,43–11,53
3	ППУ (97,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (1)	125, 140, 150, 160, 170, 160	8,65
4	ППУ (96,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (2)	125, 140, 150, 160, 170, 160	10,22
5	ППУ (95,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (3)	125, 140, 150, 160, 170, 160	11,00–11,27
6	ППУ (94,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (4)	125, 140, 150, 160, 170, 160	10,22–10,74
7	ППУ (93,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (5)	125, 140, 150, 160, 175, 160	9,96–10,48

Таблица 2 – Физико-механические показатели свойств материалов для низа обуви

Наименование показателя, обозначение, ед. измерения	ТНПА	Применяемые средства измерения, оборудование	Сущность испытания	Обработка результатов
Плотность (ρ), г/см^3	ГОСТ 267-73 [5]	Аналитические весы XS204, Mettler Toledo, США	Определение отношения массы образца к объему вытесненной им жидкости известной плотности при заданной температуре испытания	Гидростатическим методом, по формуле ГОСТ 267-73. Результат – среднее арифметическое испытаний трех образцов
Твердость (H), усл. ед.	ГОСТ 263-75 [6]	Твердомер ТМ-2	Измерение сопротивления образцов погружению в них индентора	Среднее арифметическое всех измерений, округленное до целого числа
Абразивный износ (V_i), $\text{мм}^3/\text{м}$	ГОСТ 11012-2017 [7]	Тестер абразивного износа APG-300, Fritz Heckert, ГДР	Определение уменьшения объема образца в результате истирания	По формуле (1), ГОСТ 11012-2017. Результат – среднее арифметическое значение показателей истирания всех испытанных образцов, округленное до первого десятичного знака
Относительное удлинение (ϵ), %	ГОСТ 11262-80 [8]	Измерительный комплекс Instron 5567 с программным обеспечением Merlin, Instron, Великобритания	Образец растягивают вдоль его главной продольной оси с постоянной скоростью, в процессе растяжения измеряют нагрузку, выдерживаемую образцом, и удлинение образца и определяют заданные показатели	Результат – значения показателей образцов с погрешностью измерений 0,5 % и построение экспериментальных зависимостей
Предел прочности (σ), МПа				
Модуль упругости (E), МПа				

структуры, различают пористые, непористые (монокристаллы) и кожеподобные (волокнисто-наполненные) [9].

В состав кожеподобных (волокнисто-наполненных) материалов помимо основного составляющего (ингредиента) – полимерной матрицы входит также волокнистый наполнитель.

Самым распространенным кожеподобным материалом в легкой промышленности является

кожволон или кожеподобная резина, представляющая собой полимерную матрицу, армированную вискозными волокнами до 5 мас. % и обладающую высокими показателями физико-механических свойств [10]. Однако в Республике Беларусь подобные материалы не выпускаются, а импортируются из дружественных стран ближнего и дальнего зарубежья. Поэтому получение подобных материалов позволит со-

кратить импортную составляющую в себестоимости продукции.

В связи с этим анализ свойств полученных образцов материалов проводился в сравнении с уже известными значениями свойств кожволонов, по структуре которых близки полученные композиционные материалы.

Для лабораторных исследований образцов материалов проводились испытания по определению показателей, представленных и описанных в таблице 2.

Плотность изделий является одним из важнейших показателей их качества и назначения. С плотностью материалов для низа обуви связаны показатели при растяжении, твердость, теплозащитные и амортизационные свойства и др. Плотность полученных образцов материалов представлена на рисунке 1.

Плотность полученных образцов материалов составила 1,222–1,262 г/см³, необходимо отметить, что наполнение вторичного ППУ ДП до 5 мас. % способствует незначительному увели-

чению плотности образцов, по сравнению с не-наполненным, а введение ДП 5 мас. % позволяет снизить плотность образцов до 1,222 г/см³. Значение плотности подошвенных материалов из первичного полиуретана должно быть не более 1,2 г/см³ согласно данным производителей [11]. Этому требованию могут соответствовать образцы вторичного ППУ, содержащие ДП в количестве 1 мас. %, 2 мас. % и 5 мас. %. Согласно ГОСТу 10124 [12] значение плотности для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не более 1,3 г/см³. Этому требованию могут соответствовать образцы вторичного ППУ, содержащие ДП в количестве 3 мас. % и 4 мас. %.

Необходимо отметить, что сравнение с первичным полиуретаном связано с тем, что образцы изготавливаются на полиуретановой матрице, а с резинами – в связи с установленными методиками, требованиями и нормативами испытаний на резину для низа обуви, применяемыми в обувном материаловедении, на обувных

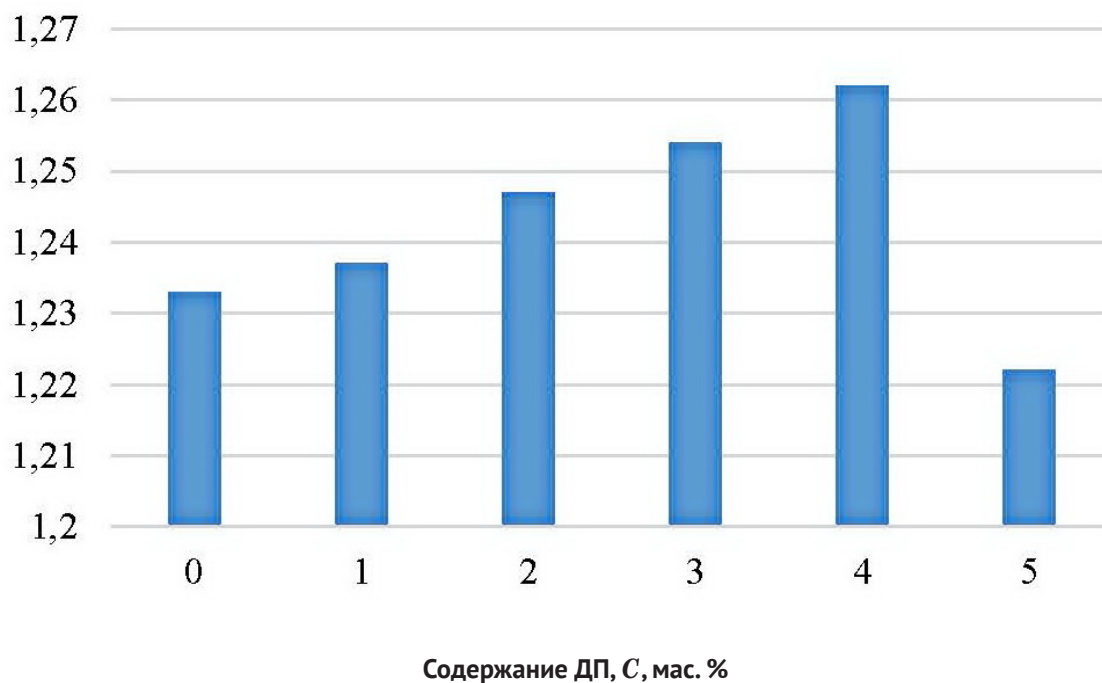


Рисунок 1 – Плотность вторичного ППУ в зависимости от содержания древесной пыли (ДП) в композите

предприятиях и в центрах испытаний для различных подошвенных материалов.

Предел прочности материалов при растяжении в значительной мере определяет технологические и эксплуатационные свойства изделий. Предел прочности при растяжении обуславливается многими факторами: качественным составом композита (вид полимера, наполнителей, пластификатора и стабилизатора и др.) и количественным содержанием отдельных составных частей (относительное количество полимера в композиции, дозировка наполнителей, пластификатора, стабилизатора и др.), правильностью проведения процесса изготовления композита (соблюдение порядка загрузки составных частей, равномерность их смешения, температурный режим смешения и др.), режимом переработки и литья композита (соблюдение установленных параметров, т. е. времени, температуры и давления).

Относительное удлинение материалов при разрыве является важным показателем их эксплуатационных свойств. Подошвы обуви с низкими показателями относительных удлинений при разрыве быстрее изнашиваются в процессе пользования обувью, а в ряде случаев ломаются по линии изгиба в пучках. На величину относительных удлинений материалов при разрыве влияют в основном те же факторы, что и на предел прочности при растяжении.

Важнейшей особенностью многих полимеров является то, что они находятся в высокоэластическом состоянии в широком диапазоне температур, что позволяет выбирать материал, который будет сохранять эластические свойства при заданных условиях эксплуатации. Механические свойства материалов для низа обуви являются следствием их высокоэластического состояния. Упругость высокомолекулярных тел является следствием ограниченности возможных конформационных превращений макромолекул под действием нагрузки.

Зависимости свойств композитов от рецептурного состава описанных выше показателей представлены на рисунке 2.

По данным рисунка 2 можно отметить, что при наполнении ДП предел прочности при растяжении и модуль упругости практически не изменяются, несколько снижаясь при повыше-

нии концентрации ДП (5 мас. %), по-видимому, вследствие эффекта наполнения. Деформация наполненного образца заметно ниже, чем ненаполненного. Ниже представлен анализ значений физико-механических характеристик.

Предел прочности полученных образцов материалов составил 13,8–16,0 **МПа**, что значительно превышает значение предела прочности подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11], исключение составляют только PU Compact фирмы The Dow Chemical Company (>30 **МПа**), Rubber-Like PU Compact фирмы The Dow Chemical Company (>20) и некоторые марки фирмы Xuchuan Chemical (Suzhou) Co (1,5–18 **МПа**). Согласно ГОСТу 10124 [12] значение предела прочности для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не менее 4,5 **МПа**. Значения полученных образцов материалов превышают нижнюю пороговую границу показателя на 206,7–255,6 %.

При определении относительного удлинения при разрыве выяснилось, что оно составляет несколько меньше, чем заявленные нормативы, однако данный показатель превысил 100 %, также следует предположить, что данное значение показателя может быть обусловлено увеличением ДП в материале, т.к. на это указывает высокое значение плотности и твердости исследуемого композита [13]. Согласно данным производителей [11] минимальное значение относительного удлинения составляет 160 % (полиуретан System фирмы BCI Holding SA), согласно ГОСТу 10124 [12] значение относительного удлинения для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не менее 170 %. Как можно заметить, значение показателя относительного удлинения согласно рисунку 2 не соответствует требуемым значениям, так как не «доходит» до минимальных требуемых значений. Наибольшее значение удлинения зафиксировано у вторичного ППУ, содержащего ДП в количестве 3 мас. % (132 %).

Модуль упругости составил 23,9–24,8 **МПа**. Данный показатель не входит в перечень регламентированных показателей для подошвенных материалов согласно [11, 12]. Тем не менее, если сравнивать значение для резин и первичных по-

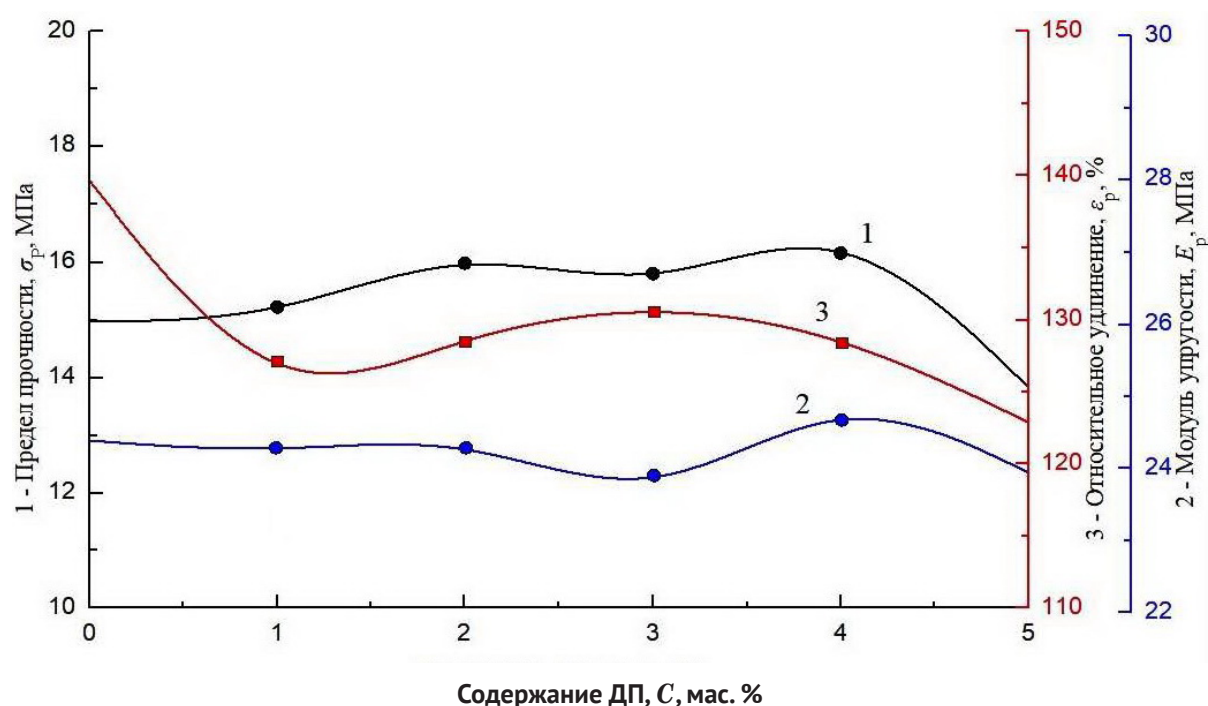


Рисунок 2 – Зависимость физико-механических характеристик вторичного ППУ от содержания древесной пыли (ДП) в композите: 1 – предел прочности при растяжении (σ_p); 2 – модуль упругости при растяжении (E_p); 3 – относительное удлинение при разрыве (ϵ_p)

лиуретанов, то согласно [14] модуль упругости при растяжении 100 % может составлять 12 и 29 **МПа** соответственно. Согласно полученным значениям, они значительно превосходят значения модуля упругости для резин, но немного уступают значениям для первичного полиуретана, при этом в требованиях приводится верхняя граница показателя.

Показатель твердости материалов для низа обуви отражает их технологические и эксплуатационные свойства. Материалы с низкими показателями твердости плохо поддаются обработке на обувных фабриках, деформируются при прессовании в процессе приклеивания к обуви, создают неудобства при носке обуви. Излишне твердые материалы обладают худшей амортизационной способностью и во многих случаях быстрее изнашиваются.

Еще одним очень важным свойством материалов для низа обуви является их высокая устойчивость к истиранию, определяемому усталостным разрушением поверхностного слоя ма-

териала при трении. На величину износа влияют вид полимера и его дозировка в композиции, вид наполнителя и его количество по отношению к полимеру, правильность изготовления композита, режимы переработки и литья и другие факторы.

Зависимости свойств композитов от рецептурного состава описанных выше показателей представлены на рисунке 3.

По данным рисунка 3 можно отметить, что твердость композита увеличивается при одновременном некотором снижении абразивного износа. Ниже представлен анализ значений физико-механических характеристик.

Твердость по Шору А составила 88–90 усл. ед., что соответствует значениям твердости подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11] (не более 90 усл. ед.), но не соответствует требованиям согласно ГОСТу 10124 [12] для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления (70–80 усл. ед.).

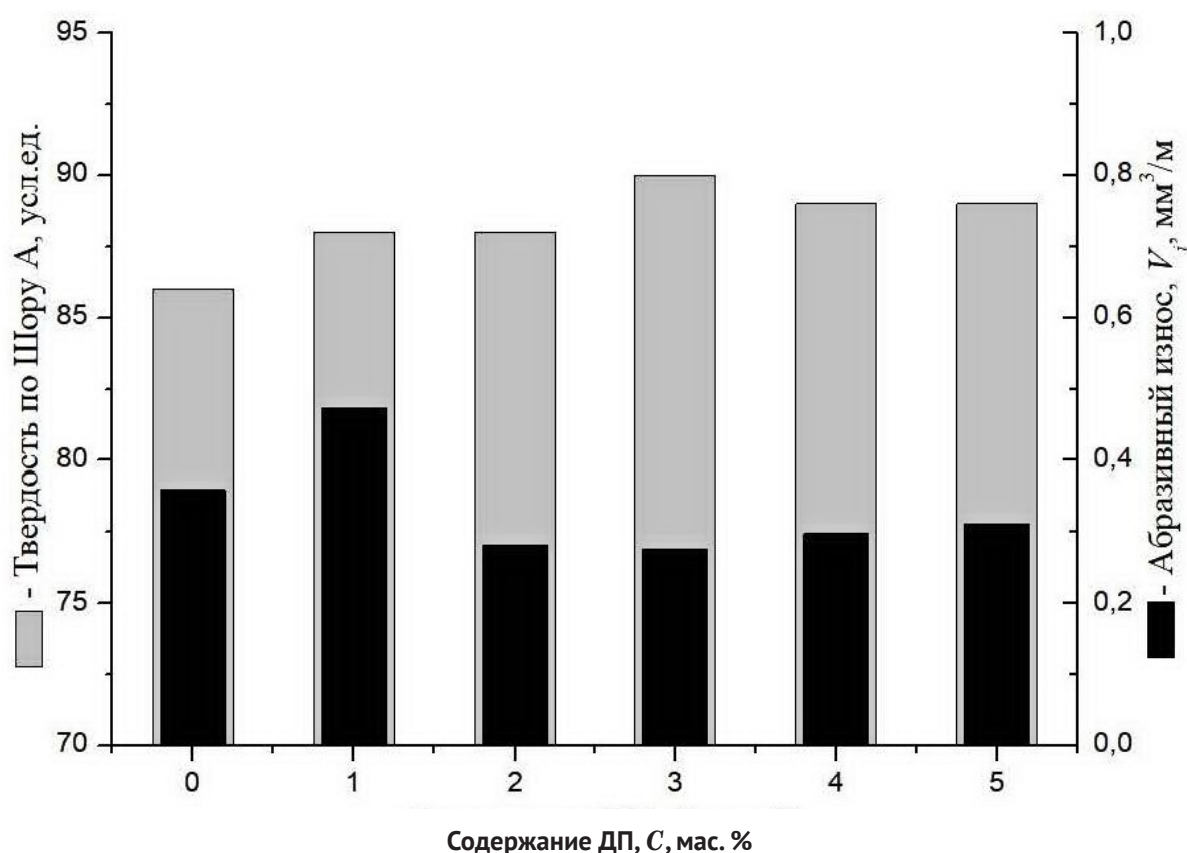


Рисунок 3 – Зависимость физико-механических характеристик вторичного ППУ от содержания древесной пыли (ДП) в композите: твердость по Шору А, абразивный износ (V)

Значение абразивного износа отличается у полученных материалов в зависимости от содержания древесной пыли (ДП) в композите. Наилучшее значение наблюдается у вторичного ППУ с содержанием ДП 3 мас. % ($0,28 \text{ мм}^3/\text{м}$), наихудшее – у вторичного ППУ с содержанием ДП 1 мас. % ($0,48 \text{ мм}^3/\text{м}$). Необходимо отметить, что данный показатель не входит в перечень регламентированных показателей для подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11] и требованиям ГОСТа 10124 [12]. Для подошвенных материалов из первичного полиуретана регламентируется износ на закрепленном абразиве, происходящий на машинах барабанного типа в соответствии со стандартом ISO 4649 и измеряемый либо в мг (не более 30–250) либо в мм^3 (не более 60–500) [11]. Для резин согласно ГОСТу 10124 [12] регламентируется показа-

тель сопротивления истиранию – не более $2,5 \text{ Дж}/\text{мм}^3$. Согласно работе [15] можно получить расчетные значения износа в мм^3 на 1 м пути трения для подошвенных материалов из первичного полиуретана, составившие не более 3,0–25,0 $\text{мм}^3/\text{м}$. Анализируя полученные значения с расчетными значениями материалов из первичного полиуретана, можно сделать вывод о соответствии полученных образцов материалов требованиям.

Полученные результаты дополнены данными сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в соответствии с рисунком 4.

Из представленных данных видно, что введение дисперсных наполнителей влияет на структурирование полимерной матрицы. При наполнении полимерной матрицы ДП фиксируется равномерное распределение наполнителя по объему матрицы (на рисунке 4 видны вкрап-

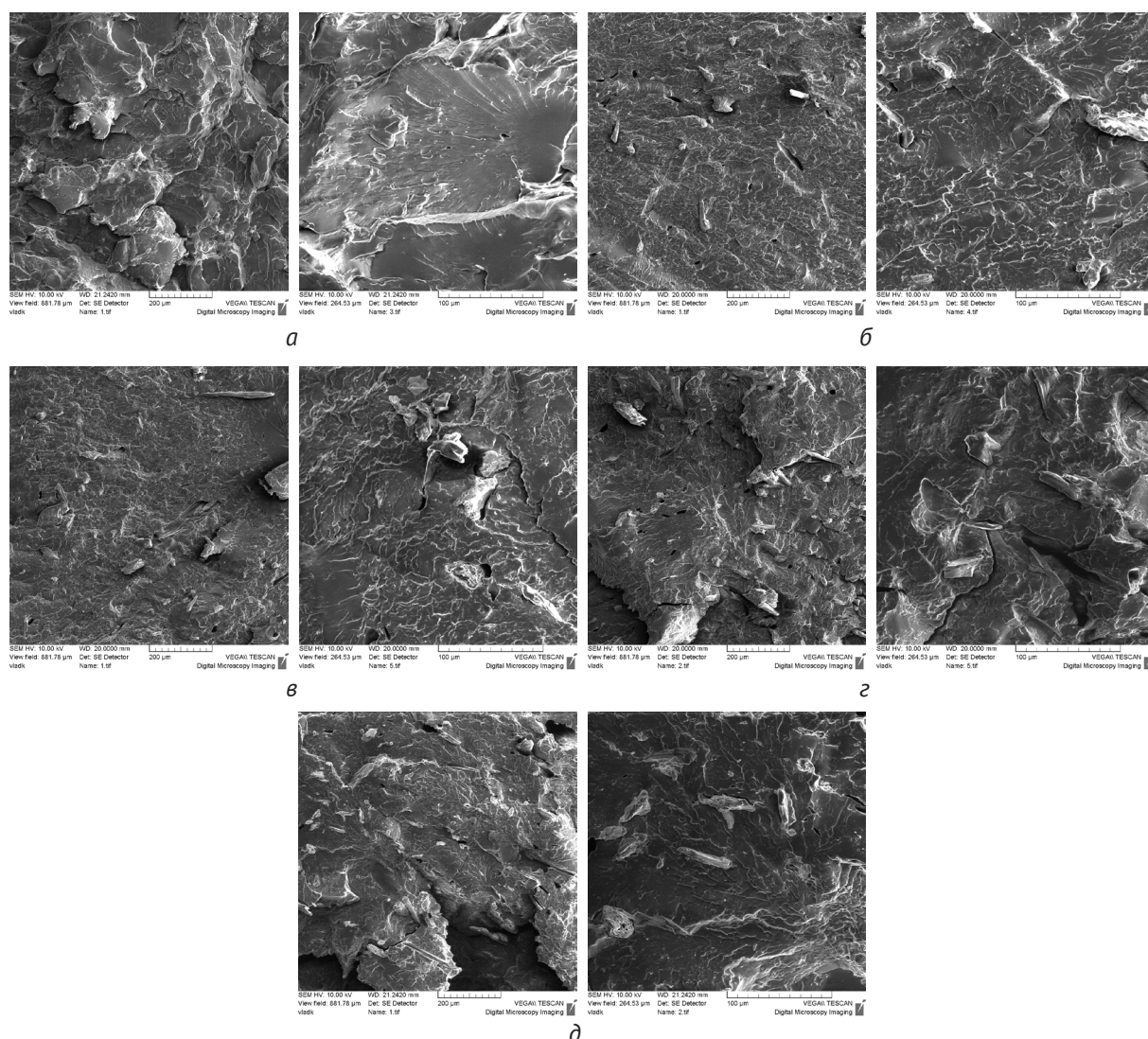


Рисунок 4 – Структуры срезов образцов с содержанием ДП 1–5 мас. %: а – 1 мас. %; б – 2 мас. %; в – 3 мас. %; г – 4 мас. %; д – 5 мас. %

ления частиц), вследствие чего формирование морфологии композита происходит относительно упорядоченным способом. По-видимому, дисперсные частицы ДП вначале располагаются в остаточных порах материала, а впоследствии, взаимодействуя с этими инкапсулированными частицами – на границах раздела «ДП – связующее», что ведет к относительно равномерному распределению наполнителя. Более заметное присутствие ДП при 5 мас. % иллюстрирует эффект наполнения, реализующийся в некотором ухудшении прочностных характеристик. Вероят-

но, определенную роль играет площадь поверхности дисперсных частиц [16].

Структура на рисунке 4 а характеризуется неоднородной расплавленной поверхностью, 4 б и 4 в характеризуется хорошей адгезией между частицами древесной пыли и полиуретановой матрицей, имеет меньше полостей и пустот и более однородную поверхность, 4 г и 4 д за счет скопления частиц ДП на поверхности не проникают и не взаимодействуют с полиуретановой матрицей, что говорит о плохой межфазной адгезии. Эти наблюдения СЭМ ясно объяс-

няют усиление физико-механических свойств вторичного полиуретана, содержащего ДП в количестве 2 мас. % и 3 мас. %.

Заключение

Проведенное исследование позволяет предположить, что древесные наполнители в виде ДП можно рассматривать как недорогие функциональные добавки в полиуретановую основу для обеспечения достижения приемлемых и воспроизводимых физико-механических показателей свойств и технологических показателей процесса их переработки для получения конкурентоспособных импортозамещающих изделий с заданным ресурсом и высоким гарантированным сроком службы. Это обуславливается определенными рецептурно-технологическими параметрами формирования композита,

связанными с тем, что дисперсные частицы в виде ДП проникают в остаточные поры отходов ППУ, вступая во взаимодействие друг с другом и способствуя возникновению упорядоченных структур, тем самым выполняя роль не только наполнителя композиционных материалов, но и роль структурирующей и упрочняющей добавки.

В рамках работы также установлено, что введение в композицию ДП в количестве 1,0–5,0 мас. % и совмещение ее с полиуретановой основой позволяет повысить твердость, износостойкость композиционных материалов при сохранении уровня прочностных показателей, что позволяет приблизить их по показателям качества к материалам, используемым в обувной промышленности для получения подошв обуви (резины и первичный полиуретан).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаповалов, В. М., Тартаковский, З. Л. (2003), *Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов*, Гомель: ИММС НАН Беларуси, 262 с.
2. Черкасова, Н. Г., Стрикун, В. В. (2017), Влияние древесной пыли на качество композиционных строительных материалов, *Хвойные бореальной зоны*, 2017, том XXXV, № 1 (2), С. 106–110.
3. Клёсов, А. А. (2010), *Древесно-полимерные композиты*, СПб.: Научные основы и технологии, 736 с.
4. Stavrov, V. P., Spiglazov, A. V., Sviridenok, A. I. (2007), Rheological parameters of molding thermoplastic composites high-filled with wood particles, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2007, vol. 12, № 2, pp. 527–536.
5. ГОСТ 267-73. Резина. Методы определения плотности, Введ. 1975.01.01, ИПК Издательство стандартов, Москва, 2001, 5 с.

REFERENCES

1. Shapovalov, V. M., Tartakovsky, Z. L. (2003), *Mnogokomponentnye polimernye sistemy na osnove vtorichnykh materialov* [Multicomponent polymer systems based on secondary materials], Gomel: IMMS NAS of Belarus, 262 p.
2. Cherkasova, N. G., Strikun, V. V. (2017), Influence of wood dust on the quality of composite building materials [Vlianie drevesnoj pyli na kachestvo kompozicionnykh stroitel'nykh materialov], *Hvojnye boreal'noj zony – Conifers of the boreal zone*, 2017, Vol. XXXV, № 1 (2), pp. 106–110.
3. Klyosov, A. A. (2010), *Drevesno-polimernye kompozity* [Wood-polymer composites], St. Petersburg: Scientific bases and technologies, 736 p.
4. Stavrov, V. P., Spiglazov, A. V., Sviridenok, A. I. (2007), Rheological parameters of molding thermoplastic composites high-filled with wood particles, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2007, vol. 12, № 2, pp. 527–536.

6. ГОСТ 263-75. *Резина. Метод определения твердости по Шору А*, Введ. 1977.01.01, Государственный комитет СССР по стандартам, Москва, 1989, 5 с.
7. ГОСТ 11012-2017. *Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ*, Введ. 01.07.2018, Стандартинформ, Москва, 2017, 7 с.
8. ГОСТ 11262-2017. *Пластмассы. Метод испытания на растяжение*, Введ. 01.10.2018, Стандартинформ, Москва, 2018, 19 с.
9. Павлинов, А. В. (2014), Подошвенные материалы на основе синтетических полимеров, *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 6, С. 101–103.
10. Буркин, А. Н. [и др.] (2011), *Материаловедение кожевенно-обувного производства*, М.: Беларус. Энцикл. імя П. Броўкі, 310 с.
11. Радюк, А. Н., Ковальчук, Е. А., Буркин, А. Н. (2022), Показатели физико-механических свойств полиуретановых систем, под общ. ред. Буркина А.Н., *Материалы для подошв обуви на основе отходов производства*, Витебск, С. 23–24.
12. ГОСТ 10124-76. *Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви. Технические условия*, Введ. 1977.01.01, Государственный комитет СССР по стандартам, Москва, 1982, 10 с.
13. Долган, М. И. (2015), Свойства современных кожеподобных резин, Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 2015, С. 339–341.
14. *Полиуретан*, режим доступа: <https://varyag-plus.ru/detail/4209/> (дата доступа 24.07.2023 г.)
5. Standard 267-73. *Rubber. Methods of density determination*, Vved. 1975.01.01, IPK Izdatel'stvo standartov, Moscow, 2001, 5 p.
6. Standard 263-75. *Rubber. Method for determining Shore A hardness*, Vved. 1977.01.01, Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, Moscow, 1989, 5 p. 7.
7. Standard 11012-2017. *Plastics. Method of abrasive wear test*, Vved. 01.07.2018, Standartinform, Moscow, Moscow, 2017, 7 p.
8. Standard 11262-2017. *Plastics. Tensile test method*, Vved. 01.10.2018, Standartinform, Moscow, 2018, 19 p.
9. Pavlinov, A. V. (2014), Podoshvennye materialy na osnove sinteticheskikh polimerov [Podosol materials based on synthetic polymers], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2014, № 6, P. 101–103.
10. Burkin, A. N. [i dr.] (2011), *Materialovedenie kozhevenno-obuvnogo proizvodstva* [Materials science of leather and footwear production], M.: Belarus. Encykl. imya P. Broŭki, 310 p.
11. Radiuk, A. N., Kovalchuk, E. A., Burkin, A. N. (2022), Pokazateli fiziko-mehanicheskikh svojstv poliuretanovykh system [Indicators of physical and mechanical properties of polyurethane systems], edited by Burkin A.N., *Materialy dlja podoshv obuvi na osnove othodov proizvodstva* [Materials for shoe soles on the basis of production waste], Vitebsk, pp. 23–24.
12. Standard 10124-76. *Non-porous rubber plates and parts for shoe bottoms. Specifications*, Vved. 1977.01.01.01, Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, Moscow, 1982, 10 p.
13. Dolgan, M. I. (2015), Properties of modern skin-like rubbers [Svojstva sovremennykh kozhepodobnykh rezin], *Novoe v tehnikе i tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti*,

15. Гумен, В. Р., Мильникова, Т. Н., Коврига, В. В. (2018), Сравнение износостойкости полиолефинов и термопластичных полиуретанов в условиях абразивного износа, *Пластические массы*, 2018, № 7-8, С. 29–32.
16. Теоретические и экспериментальные методы оценки структуры и свойств композиционных материалов на полимерной матрице из полиуретанов по заданию 8.4.2.4 подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы : отчет о НИР (промежуточный) : 2022-Г/Б-368 / УО «ВГТУ» ; науч. рук. А. Н. Буркин. – Витебск, 2022. – 67 с.
- Materials of reports of the international scientific and technical conference*, Vitebsk, 2015, pp. 339–341.
14. *Poliuretan* [Polyurethane], available at: <https://varyag-plus.ru/detail/4209/> (accessed 24 July 2023).
15. Gumen, V. R., Mylnikova, T. N., Kovriga, V. V. (2018), Comparison of wear resistance of polyolefins and thermoplastic polyurethanes under abrasive wear conditions [Srvnenie iznosostojkosti poliolefinov i termoplastichnyh poliuretanov v uslovijah abrazivnogo iznosa], *Plasticheskie massy – Plastic*, 2018, № 7-8, pp. 29–32.
16. Theoretical and experimental methods of evaluation of structure and properties of composite materials on polymer matrix from polyurethanes [Teoreticheskie i jeksperimental'nye metody ocenki struktury i svojstv kompozicionnyh materialov na polimernoj matrice iz poliuretanov] under the task 8.4.2.4 of the subprogram "Multifunctional and composite materials" of the state research program "Materials science, new materials and technologies" for 2021-2025 : research report (interim) : 2022-G/B-368 / EE "VGTU" ; scientific supervisor. A. N. Burkin. – Vitebsk, 2022. – 67 p.

Статья поступила в редакцию 30.08.2023 г.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОПИСАНИЯ СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПРИМЕСЬЮ ТРЕХВАЛЕНТНЫХ ИОНОВ ЭРБИЯ И ТУЛИЯ

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ADEQUACY OF DIFFERENT MODELS FOR DESCRIPTION OF THE SPECTROSCOPIC PROPERTIES OF LASER MATERIALS DOPED WITH TRIVALENT ERBIUM AND THULIUM IONS

УДК 539.21:535

А.А. Корниенко*, Е.Б. Дунина, А.С. Соколова,
К.О. Масалова

Витебский государственный технологический
университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-50-58>

A. Kornienko*, E. Dunina, H. Sokalava,
K. Masalova

Vitebsk State Technological
University

РЕФЕРАТ

*ЛАЗЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ВЕРОЯТНОСТИ
СПОНТАННЫХ ПЕРЕХОДОВ, ИЗЛУЧАТЕЛЬНОЕ
ВРЕМЯ ЖИЗНИ, СИЛА ЛИНИИ, СИЛЫ ОСЦИЛЛЯ-
ТОРОВ ПЕРЕХОДОВ, ЭРБИЙ, ТУЛИЙ*

В качестве объекта исследования выбраны оксидные кристаллы, активированные трехвалентными ионами эрбия и тулия. Вероятностные характеристики поглощения и излучения таких кристаллов хорошо изучены экспериментально.

Цель работы – установить наиболее адекватную модель для описания экспериментальных значений сил осцилляторов абсорбционных переходов.

Основные расчетные формулы получены методами квантовой теории углового момента. Электрические дипольные f-f переходы, наблюдаемые в спектрах редкоземельных ионов, частично разрешены при учете влияния возбужденных конфигурация противоположной четности и конфигураций с переносом заряда. Для определения параметров интенсивности в различных схемах расчета используется процедура минимизации функционала ошибки, составленного из суммы квадратов отклонений вычисленных сил линий от соответствующих эксперименталь-

ABSTRACT

LASER MATERIALS, TRANSITION PROBABILITIES, RADIATIVE LIFETIME, LINE STRENGTH, TRANSITION OSCILLATOR STRENGTHS, ERBIUM, THULIUM

The purpose of this work is to determine the most adequate model for describing the experimental values of the intensities of the absorption bands of laser materials activated by trivalent erbium and thulium ions. Such materials are used as active media for lasers generating radiation in the infrared range of 1.5–2.8 μm . Calculation formulas are given for the oscillator strengths of absorption transitions in the Judd – Ofelt (J-O) model, the modified Judd – Ofelt (mJ-O) model, and in the approximation of an intermediate configurational interaction (ICI). To compare the adequacy of different models, the results of describing the experimental oscillator strengths of absorption transitions in six crystals activated by erbium ions and five crystals activated by thulium ions are considered. The most accurate description of ten of the eleven samples under consideration was obtained in the ICI model. In the calculations, we used the procedure for minimizing the error functional composed of the sum of the squared deviations of the calculated oscillator strengths from the corresponding experimental values. The criterion for choosing the

* E-mail: a_a_kornienko@mail.ru (A. Kornienko)

ных значений.

В ходе исследований выполнен сравнительный анализ адекватности модели Джадда – Офельта, модифицированной модели Джадда – Офельта и приближения промежуточного конфигурационного взаимодействия спектроскопических свойств активных лазерных сред, применяемых для генерации в инфракрасном диапазоне 1.5–2.8 мкм.

Рассмотрены результаты описания 11 образцов по вышеперечисленным моделям. Критерием выбора наилучшей схемы параметризации служит минимальное значение среднеквадратичного отклонения.

Установлено, что модифицированная модель Джадда – Офельта и приближения промежуточного конфигурационного взаимодействия обеспечивают непротиворечивое описание интенсивностных характеристик как поглощения, так и излучения лазерных материалов, активированных трехвалентными ионами эрбия и тулия.

В последнее время в научных журналах появляется огромное количество работ, информирующих о новых лазерных средах, активированных редкоземельными ионами. Такие материалы используются как активные среды твердотельных лазеров. Твердотельные лазеры находят широкое применение в строительстве, машиностроении, медицине, телекоммуникации, навигации и во многих других сферах. К лазерным устройствам предъявляют самые разнообразные требования: частотный диапазон генерируемого излучения (инфракрасный, видимый, ультрафиолетовый), режим работы (непрерывный, квазинепрерывный, импульсный), диапазон мощности, коэффициент полезного действия, удобство накачки. Характеристики лазерного устройства сложным образом зависят как от оптических, температурных и механических свойств кристалла, так и от спектроскопических характеристик редкоземельных ионов, выполняющих роль оптических центров.

Некоторые важные характеристики лазерных материалов, такие как время жизни возбужденных мультиплетов и коэффициенты ветвления

best parameterization scheme is the minimum value of the root mean square deviations. A particularly noticeable improvement in the description is observed when using the ICI model for crystals activated by thulium ions. This is explained by the fact that multiplets with the same value of the total moment J combine into groups under the action of strong spin-orbit interaction. The action of excited configurations on any one multiplet is transmitted to all multiplets of the group. Thulium has a number of multiplets and consequently groups is much less than that of erbium. Therefore, the effect of excited configurations on thulium multiplets is more differentiated and easier to detect in the description.

люминесценции обычно вычисляют на основе какой-нибудь модели. Поэтому актуально сравнить адекватность различных моделей для описания спектроскопических свойств стекол и кристаллов, активированных редкоземельными ионами.

Основные формулы в различных моделях

В качестве основных характеристик излучательных переходов из возбужденного мультиплета J обычно используют вероятности спонтанных переходов

$$A_{JJ'} = \frac{8\pi^2 e^2 n^2 \sigma^2}{mc} f_{JJ'} ,$$

излучательное время жизни

$$\tau_J = \frac{1}{\sum_{J'} A_{JJ'}},$$

и коэффициенты ветвления люминесценции

$$\beta_{JJ'} = \tau_J \cdot A_{JJ'} = \frac{A_{JJ'}}{\sum_{J'} A_{JJ'}}.$$

Здесь e – заряд электрона, n – показатель преломления среды, σ – волновое число в см^{-1} , m – масса электрона, c – скорость света, $f_{JJ'}$ – силы осцилляторов переходов, вычисляемые по формуле

$$f_{JJ'} = \frac{8\pi^2 mc\sigma}{3(2J+1)\hbar e^2} \left[\frac{(n^2+2)^2}{9n} S_{JJ'}^{ed} + n S_{JJ'}^{md} \right],$$

где $\hbar$ – постоянная Планка, $S_{JJ'}^{ed}$ – сила линии электрических дипольных и $S_{JJ'}^{md}$ – магнитных дипольных переходов.

Магнитные дипольные f – f переходы разрешены, поэтому их сила линии слабо зависит от симметрии и свойств электрического поля в кристалле. Методы вычисления $S_{JJ'}^{md}$ хорошо разработаны [1]:

$$S_{JJ'}^{md} = \frac{e^2 \hbar^2}{16\pi^2 m^2 c^2} \langle \chi[LS]J \| \vec{L} + 2\vec{S} \| \chi'[L'S']J' \rangle^2.$$

Здесь $\chi[LS]JM$ – функция редкоземельного иона, $\vec{L}$ и $\vec{S}$ – орбитальный момент и спин редкоземельного иона. Магнитные дипольные переходы разрешены при условии

$$|J - J'| = 0, \pm 1, \Delta L = 0, \Delta S = 0 \text{ и } \Delta I = 0.$$

Сложнее обстоит дело с вычислением силы линии электрических дипольных переходов $S_{JJ'}^{ed}$. Электрические дипольные f – f переходы запрещены, и запрет на них частично снимается только для ионов в не центрально-симметричном электрическом поле кристалла. Поэтому $S_{JJ'}^{ed}$ очень чувствительны к составу и структуре лазерного материала. Простая расчетная формула для $S_{JJ'}^{ed}$ была получена в работах Джадда и Офельта [2, 3] при условии, что электронная конфигурация $4f^N$ вырождена

$$S_{JJ'}^{ed} = e^2 \sum_{k=2,4,6} \Omega_k \langle \chi J \| U^k \| \chi' J' \rangle^2. \quad (1)$$

Здесь $\langle \chi J \| U^k \| \chi' J' \rangle$ – приведенные матричные элементы единичного тензора U^k , Ω_k – варьируемые параметры теории, оптимальное значение которых выбирается по методу наименьших квадратов. Часто для этой модели применяют сокращение **J-O**. Она содержит три варьируемых параметра.

На самом деле разные мультиплеты электронной конфигурации $4f^N$ имеют различную энергию и это учитывается в более сложной модели [4, 5]

$$S_{JJ'}^{ed} = e^2 \sum_{k=2,4,6} \underbrace{\Omega_k [1 + 2R_k(E_J + E_{J'} - 2E_f^0)]}_{\Omega_k} \langle \chi J \| U^k \| \chi' J' \rangle^2. \quad (2)$$

Здесь R_k – параметры, обусловленные конфигурационным взаимодействием. В этом приближении параметры Ω_k зависят от энергии E_J и $E_{J'}$ мультиплетов. Общепринятое сокращение для этой модели – **ICI**. Она содержит шесть варьируемых параметров. Дополнительные по сравнению с моделью **J-O** параметры R_2, R_4, R_6 учитывают влияние возбужденных конфигураций противоположной четности и с переносом заряда.

На ряду с моделями (1) и (2) находит применение промежуточная по сложности модель [4, 5]

$$S_{JJ'}^{ed} = e^2 \sum_{k=2,4,6} \Omega_k [1 + 2\alpha(E_J + E_{J'} - 2E_f^0)] \langle \chi J \| U^k \| \chi' J' \rangle^2, \quad (3)$$

в которой $R_2 = R_4 = R_6 = \alpha \approx 1/2\Delta$, где Δ – энергия возбужденной конфигурации. Общепринятое сокращение для этой модели – **mJ-O**. У этой модели четыре варьируемых параметра. Дополнительный по сравнению с моделью **J-O** параметр α учитывает влияние только возбужденной конфигурации противоположной четности.

Обычно моделей (1), (2) и (3) достаточно для описания экспериментальных данных по спек-

троскопическим свойствам лазерных материалов с удовлетворительной точностью.

Для сравнения адекватности моделей с различным числом варьируемых параметров обычно применяется среднеквадратичное отклонение вычисленных значений от соответствующих экспериментальных

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j'} (f_{jj'}^{\text{exp}} - f_{jj'}^{\text{calc}})^2}{N - N_p}},$$

где N – количество экспериментальных сил осцилляторов $f_{jj'}^{\text{exp}}$, N_p – количество независимых параметров.

Характерной особенностью электронного строения редкоземельных трехвалентных элементов является незаполненная $4f^N$ -оболочка, экранированная от внешних электрических полей заполненными $5s^2$ - и $5p^6$ -оболочками. Поэтому спектральные линии имеют маленькую ширину, что делает редкоземельные ионы перспективными кандидатами для создания активных сред для твердотельных лазеров. Из четырнадцати редкоземельных ионов для создания твердотельных лазеров чаще всего применяют эрбий (Er^{3+}), тулий (Tm^{3+}), неодим (Nd^{3+}), тербий (Tb^{3+}), европий (Eu^{3+}), гольмий (Ho^{3+}), самарий (Sm^{3+}). Выполним сравнительный анализ адекватности моделей (1) ($J-O$), (2) (ICI) и (3) ($mJ-O$) при описании интенсивностей полос поглощения лазерных материалов, активиро-

ванных некоторыми ионами.

Ион Er^{3+}

Излучение иона эрбия, обусловленное электронным переходом $^4I_{13/2} \rightarrow ^4I_{15/2}$ принадлежит диапазону 1,5–2,8 $\mu\text{м}$. Лазеры с таким диапазоном длин волн широко применяются в дальномерах, для зондирования окружающей среды, в аэронавигации и телекоммуникации. Интенсивный синтез и экспериментальное изучение спектроскопических свойств эрбий содержащих лазерных материалов продолжается с целью получения оптимальных условий для накачки, генерации и повышения КПД. В таблице 1 приведены значения среднеквадратичного отклонения, полученные при описании сил осцилляторов абсорбционных переходов по различным моделям.

Анализ результатов таблицы 1 показывает, что в пяти из шести приведенных примеров учет влияния возбужденных конфигураций по моделям $mJ-O$ и ICI улучшает точность описания сил осцилляторов абсорбционных переходов. Однако даже для кристаллов одной симметрии степень влияния возбужденных конфигураций сложно предсказать. Возможно, это объясняется тем, что сильное спин-орбитальное взаимодействие объединяет мультиплеты с одинаковым суммарным моментом J в группы [10]. По этой причине действие возбужденных конфигураций на любой мультиплет передается другим мультиплетам этой группы. У иона эрбия 41 мультиплет. Поэтому даже самый низколежащий мультиплет,

Таблица 1 – Сравнение адекватности моделей $J-O$ (формула (1)), $mJ-O$ (формула (3)) и ICI (формула (2)) для описания сил осцилляторов абсорбционных переходов иона Er^{3+} в различных кристаллах

Кристалл	Среднеквадратичное отклонение $\sigma \times 10^6$		
	$J-O$	$mJ-O$	ICI
$Er^{3+}:MgWO_4$ [6]	1,590	1,681	0,764
$Er^{3+}:(Lu, Sc)_2O_3$ [7]	0,175	0,130	0,133
$Er^{3+}:YSGG$ [8]	0,245	0,161	0,155
$Er^{3+}:Y_2O_3$ [9]	0,138	0,135	0,163
$Er^{3+}:Lu_2O_3$ [9]	0,369	0,168	0,184
$Er^{3+}:Sc_2O_3$ [9]	0,552	0,247	0,265

на который прямое действие возбужденных конфигураций незначительно, будет принадлежать к группе, в которой содержатся мультиплеты, сильно взаимодействующие с возбужденными конфигурациями. Через такие мультиплеты возбужденные конфигурации будут влиять на все мультиплеты группы. Таким образом, все мультиплеты иона эрбия будут испытывать усредненное воздействие возбужденных конфигураций, которое в полной мере не учитывают модели **mJ-O** и **ICI**.

Ион Tm^{3+}

Интересные с точки зрения практического применения лазеры, излучающие в диапазоне 1,5–2,8 μm , можно конструировать на основе кристаллов с примесью трехвалентных ионов тулия. Основной мультиплет 3H_6 иона Tm^{3+} имеет большое расщепление, что создает широкие полосы поглощения. Широкие полосы поглощения обеспечивают эффективное применение промышленных диодных лазеров AlGaAs для накачки. Именно по этой причине кристаллы с примесью ионов тулия детально исследуются экспериментально и теоретически как перспективные кандидаты для создания твердотельных лазеров. В таблице 2 приведены значения среднеквадратичного отклонения, полученные при описании сил осцилляторов абсорбционных переходов иона тулия по различным моделям.

Результаты таблицы 2 свидетельствуют, что модели **mJ-O** и **ICI** обеспечивают описание экспериментальных данных с более высокой точностью, чем модель **J-O**. Такая ситуация вполне ожидаемая, так как в моделях **mJ-O** и **ICI** более корректно учитывается влияние воз-

бужденных конфигураций. У трехвалентного тулия всего 13 мультиплетов. Спин-орбитальное взаимодействие мультиплеты с одинаковым полным моментом **J** взаимосвязывает в такие группы: $^3H_6, ^1I_6; ^3H_4, ^3F_4, ^1D_4; ^3F_2, ^3P_2; ^3P_0, ^1S_0$. Для трех мультиплетов $^3H_5, ^3F_3$ и 3P_1 партнеров с равными моментами **J** нет. Среди мультиплетов одной группы всегда присутствует мультиплет, сильно взаимодействующий с возбужденными конфигурациями. Через этот мультиплет воздействие возбужденной конфигурации передается остальным мультиплетам группы. Что касается мультиплетов $^3H_5, ^3F_3$ и 3P_1 , то их взаимодействие с возбужденными конфигурациями зависит от разности энергий между конфигурацией и мультиплетом. У мультиплета 3P_1 разность энергий меньше, чем у $^3H_5, ^3F_3$ и воздействие возбужденных конфигураций будет более сильным. Более точное описание экспериментальных данных в моделях **mJ-O** и **ICI**, чем в модели **J-O**, как раз и объясняется, тем, что в них более адекватно учитывается конфигурационное взаимодействие.

Следует отметить, что в последнее время появляются публикации о применении технологий искусственного интеллекта для классификации экспериментальных результатов по оптической спектроскопии лазерных материалов. Наиболее успешной была классификация данных по структуре лазерных лучей [16]. Классификация производилась по форме поперечного сечения луча. Распознавание рисунков хорошо изучено в технологиях искусственного интеллекта, поэтому выполненная классификация была успешной.

Таблица 2 – Сравнение адекватности моделей **J-O** (формула (1)), **mJ-O** (формула (3)) и **ICI** (формула (2)) для описания сил осцилляторов абсорбционных переходов иона Tm^{3+} в различных кристаллах

Кристалл	Среднеквадратичное отклонение $\sigma \times 10^6$		
	J-O	mJ-O	ICI
$Tm^{3+}:LuYO_3$ [11]	1,202	0,781	0,735
$Tm^{3+}:CaF_2$ [12]	0,258	0,274	0,207
$Tm^{3+}: CLTGG$ [13]	1,078	0,689	0,120
$Tm^{3+}: Lu_3Al_5O_{12}$ [14]	0,257	0,119	0,177
$Tm^{3+}: NaBi(MoO_4)_2$ [15]	1,309	0,277	0,379

Попытка классифицировать параметры теории Джадда – Офельта с помощью искусственного интеллекта оказались малоуспешными [17]. Это случается, если теория содержит скрытые или не выявленные параметры. Возможной причиной могут быть состояния редкоземельных ионов, расположенные в зоне собственного поглощения кристалла (континууме). Долгое время предполагалось, что в континууме связанные состояния не могут существовать. Однако последние публикации показывают, что такие состояния существуют и их учет важен для корректной интерпретации экспериментальных данных [18].

Заключение

Основное внимание в этой работе было уделено теоретическому анализу адекватности различных моделей для описания интенсивностей абсорбционных полос редкоземельных ионов, поэтому все экспериментальные данные взяты

из литературных источников [6–9] и [11–15].

На основе результатов моделирования сил осцилляторов абсорбционных переходов, приведенных в таблицах 1 и 2, можно сделать вывод, что модели *mJ-O* и *ICI*, учитывающее более детально взаимодействие мультиплетов с возбужденными конфигурациями, чем в модели Джадда – Офельта, обеспечивают более высокую точность описания экспериментальных данных. Надо иметь в виду, что кроме адекватности описания интенсивности абсорбционных полос модель должна обеспечивать корректное описание излучательных свойств, таких как время жизни возбужденных мультиплетов и коэффициенты ветвления люминесценции с них. Если учитывать корректность описания всех спектроскопических характеристик, то применение моделей *mJ-O* и *ICI* более предпочтительно, чем модель Джадда – Офельта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Carnall, W. T., Fields, P. R., Rajnak, K. (1968), Electronic energy levels in the trivalent lanthanide aquo ions. I. Pr^{3+} , Nd^{3+} , Pm^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , and Tm^{3+} , *J. Chem. Phys.*, 1968, vol. 49, pp. 4424–4442.
2. Judd, B. R. (1962), Optical Absorption Intensities of Rare-Earth Ions, *Phys. Rev.*, 1962, vol. 127, pp. 750–761.
3. Ofelt, G. S. (1962), Intensities of Crystal Spectra of Rare Earth Ions, *J. Chem. Phys.*, 1962, vol. 37, pp. 511–520.
4. Kornienko, A. A., Kaminskii, A. A., Dunina, E. B. (1990), Dependence of the line strength of f-f transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr^{3+} in $\text{KPrP}_4\text{O}_{12}$, *Phys. Stat. Sol.(b)*, 1990, vol. 157, pp. 267–273.
5. Dunina, E. B., Kornienko, A. A. (2014), Influence of Excited Configurations on the Intensities

REFERENCES

1. Carnall, W. T., Fields, P. R., Rajnak, K. (1968), Electronic energy levels in the trivalent lanthanide aquo ions. I. Pr^{3+} , Nd^{3+} , Pm^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+} , Ho^{3+} , Er^{3+} , and Tm^{3+} , *J. Chem. Phys.*, 1968, vol. 49, pp. 4424–4442.
2. Judd, B. R. (1962), Optical Absorption Intensities of Rare-Earth Ions, *Phys. Rev.*, 1962, vol. 127, pp. 750–761.
3. Ofelt, G. S. (1962), Intensities of Crystal Spectra of Rare Earth Ions, *J. Chem. Phys.*, 1962, vol. 37, pp. 511–520.
4. Kornienko, A. A., Kaminskii, A. A., Dunina, E. B. (1990), Dependence of the line strength of f-f transitions on the manifold energy. II. Analysis of Pr^{3+} in $\text{KPrP}_4\text{O}_{12}$, *Phys. Stat. Sol.(b)*, 1990, vol. 157, pp. 267–273.
5. Dunina, E. B., Kornienko, A. A. (2014), Influence of Excited Configurations on the Intensities

- of Electric_Dipole Transitions of Rare_Earth Ions, *Optics and Spectroscopy*, 2014, vol. 116, № 5, pp. 706–711.
6. Zhang, L., Basyrova, L., Loiko, P., Camy, P., Lin, Z., Zhang, G., Slimi, S., Sole, R. M., Mateos, X., Aguilo, M., Diaz, F., Dunina, E., Kornienko, A., Griebner, U., Petrov, V., Wang, L., Chen, W. (2020), Growth, structure, and polarized spectroscopy of monoclinic $\text{Er}^{3+}:\text{MgWO}_4$ crystal, *Optical Materials Express*, 2022, vol. 12, № 5, pp. 2028–2040.
 7. Basyrova, L., Loiko, P., Jing, W., Wang, Y., Huang, H., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Viana, B., Griebner, U., Petrov, V., Aguiló, M., Díaz, F., Mateos, X., Camy, P. (2021), Spectroscopy and efficient laser operation around 2.8 μm of $\text{Er}:(\text{Lu}, \text{Sc})$ 2O_3 sesquioxide ceramics, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 240, pp. 118373–118384.
 8. Loiko, P. A., Arbabzadah, E. A., Damzen, M. J., Mateos, X., Dunina, E. B., Kornienko, A. A., Yasukevich A. S., Skoptsov, N. A., Yumashev, K. V. (2016), Judd–Ofelt analysis and stimulated-emission cross-sections for highly doped (38 at%) $\text{Er}:\text{YSGG}$ laser crystal, *Journal of Luminescence*, 2016, vol. 171, pp. 226–233.
 9. Uvarova, A., Loiko, P., Kalushiak, S., Dunina, E., Fomicheva, L., Kornienko, A., Balabanov, S., Braud, A., Camy, P., Krankel, C. (2023), Stimulated-emission cross-sections of trivalent erbium ions in the cubic sesquioxides Y_2O_3 , Lu_2O_3 , and Sc_2O_3 , *Optical Materials Express*, 2023, vol. 13, № 5, pp. 1385–1400.
 10. Дунина, Е. Б., Фомичева, Л. А., Корниенко, А. А., Григорьева, М. В. (2018), Влияние конфигурационного взаимодействия редкоземельных ионов на интенсивности их межмультиплетных переходов, *Журнал прикладной спектроскопии*, 2018, Т. 85, № 3, С. 398–406.
 11. Ereemeev, K., Loiko, P., Braud, A., Camy, P., Zhang, J., Xu, X., Zhao, Y., Liu, P., Balabanov, S., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Mateos, X., Griebner, U., Petrov, V., Wang, L., Chen, W. (2022), of Electric_Dipole Transitions of Rare_Earth Ions, *Optics and Spectroscopy*, 2014, vol. 116, № 5, pp. 706–711.
 6. Zhang, L., Basyrova, L., Loiko, P., Camy, P., Lin, Z., Zhang, G., Slimi, S., Sole, R. M., Mateos, X., Aguilo, M., Diaz, F., Dunina, E., Kornienko, A., Griebner, U., Petrov, V., Wang, L., Chen, W. (2020), Growth, structure, and polarized spectroscopy of monoclinic $\text{Er}^{3+}:\text{MgWO}_4$ crystal, *Optical Materials Express*, 2022, vol. 12, № 5, pp. 2028–2040.
 7. Basyrova, L., Loiko, P., Jing, W., Wang, Y., Huang, H., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Viana, B., Griebner, U., Petrov, V., Aguiló, M., Díaz, F., Mateos, X., Camy, P. (2021), Spectroscopy and efficient laser operation around 2.8 μm of $\text{Er}:(\text{Lu}, \text{Sc})$ 2O_3 sesquioxide ceramics, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 240, pp. 118373–118384.
 8. Loiko, P. A., Arbabzadah, E. A., Damzen, M. J., Mateos, X., Dunina, E. B., Kornienko, A. A., Yasukevich A. S., Skoptsov, N. A., Yumashev, K. V. (2016), Judd–Ofelt analysis and stimulated-emission cross-sections for highly doped (38 at%) $\text{Er}:\text{YSGG}$ laser crystal, *Journal of Luminescence*, 2016, vol. 171, pp. 226–233.
 9. Uvarova, A., Loiko, P., Kalushiak, S., Dunina, E., Fomicheva, L., Kornienko, A., Balabanov, S., Braud, A., Camy, P., Krankel, C. (2023), Stimulated-emission cross-sections of trivalent erbium ions in the cubic sesquioxides Y_2O_3 , Lu_2O_3 , and Sc_2O_3 , *Optical Materials Express*, 2023, vol. 13, № 5, pp. 1385–1400.
 10. Dunina, E. B., Fomicheva, L. A., Kornienko, A. A., Grigorieva, M. B. (2018), Influence of Configuration Interaction of Rare-Earth Ions on the Intensities of Their Intermultiplet Transitions [Vliyanie konfiguratsionnogo vzaimodejstviya redkozemel'nyh ionov na intensivnosti ih mezhmul'tipletnyh perekhodov], *ZHurnal prikladnoj spektroskopii – Journal of Applied Spectroscopy*, 2018, vol. 85, № 3, pp. 398–406.

- Spectroscopy of solid-solution transparent sesquioxide laser ceramic Tm:LuYO_3 , *Optical Materials Express*, 2022, vol. 12, № 9, pp. 3749–3762.
12. Loiko, P., Brasse, G., Basyrova, L., Benayad, A., Doualan, J.-L., Meroni, C., Braud, A., Dunina, E., Kornienko, A., Baranov, M., Daniil, G., Camy, P. (2021), Spectroscopy of Tm^{3+} -doped CaF_2 waveguiding thin films grown by Liquid Phase Epitaxy, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 238, pp. 118109–118122.
 13. Alles, A., Pan, Z., Loiko, P., Serres, J.M., Slimi, S., Yingming, S., Tang, K., Wang, Y., Zhao, Y., Dunina, E., Kornienko, A., Camy, P., Chen, W., Wang, L., Griebner, U., Petrov, V., Solé, R.M., Aguiló, M., Díaz, F., Mateos, X. (2021), Tm^{3+} -doped calcium lithium tantalum gallium garnet (Tm:CLTGG): novel laser crystal, *Optical Materials Express*, 2021, vol. 11, № 9, pp. 2938–2951.
 14. Yue, F., Loiko, P., Chen, M., Serres, J.M., Wang, Y., Li, Basyrova, L., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Dai, S., Chen, Z., Bae, J., Park, T. J., Rotermond, F., Jambunathan, Y., Lucianetti, A., Mocek, T., Aguilo, M., Diaz, F., Griebner, U., Petrov, V., Mateos, X. (2020), Spectroscopy and diode-pumped laser operation of transparent $\text{Tm:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ceramics produced by solid-state sintering, *Optics Express*, 2020, vol. 28, № 19, pp. 28399–28413.
 15. Gusakova, N. V., Mudryi, A. V., Demesh, M. P., Yasukevich, A. S., Pavlyuk, A. A., Kornienko, A. A., Dunina, E. B., Khodasevich, I. A., Orlovich, V. A., Kuleshov, N. V. (2018), Growth and spectroscopic properties of $\text{Tm}^{3+}:\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$ single crystal, *Optical Materials*, 2018, vol. 80, pp. 169–176.
 16. Avramov-Zamurovic, S., Esposito, J. M., Nelson, C. (2023), Classifying beams carrying orbital angular momentum with machine learning: tutorial, *Journal of the Optical Society of America A*, 2023, vol. 40, № 1, pp. 64–77.
 11. Ereemeev, K., Loiko, P., Braud, A., Camy, P., Zhang, J., Xu, X., Zhao, Y., Liu, P., Balabanov, S., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Mateos, X., Griebner, U., Petrov, V., Wang, L., Chen, W. (2022), Spectroscopy of solid-solution transparent sesquioxide laser ceramic Tm:LuYO_3 , *Optical Materials Express*, 2022, vol. 12, № 9, pp. 3749–3762.
 12. Loiko, P., Brasse, G., Basyrova, L., Benayad, A., Doualan, J.-L., Meroni, C., Braud, A., Dunina, E., Kornienko, A., Baranov, M., Daniil, G., Camy, P. (2021), Spectroscopy of Tm^{3+} -doped CaF_2 waveguiding thin films grown by Liquid Phase Epitaxy, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 238, pp. 118109–118122.
 13. Alles, A., Pan, Z., Loiko, P., Serres, J.M., Slimi, S., Yingming, S., Tang, K., Wang, Y., Zhao, Y., Dunina, E., Kornienko, A., Camy, P., Chen, W., Wang, L., Griebner, U., Petrov, V., Solé, R.M., Aguiló, M., Díaz, F., Mateos, X. (2021), Tm^{3+} -doped calcium lithium tantalum gallium garnet (Tm:CLTGG): novel laser crystal, *Optical Materials Express*, 2021, vol. 11, № 9, pp. 2938–2951.
 14. Yue, F., Loiko, P., Chen, M., Serres, J.M., Wang, Y., Li, Basyrova, L., Dunina, E., Kornienko, A., Fomicheva, L., Dai, S., Chen, Z., Bae, J., Park, T.J., Rotermond, F., Jambunathan, Y., Lucianetti, A., Mocek, T., Aguilo, M., Diaz, F., Griebner, U., Petrov, V., Mateos, X. (2020), Spectroscopy and diode-pumped laser operation of transparent $\text{Tm:Lu}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ceramics produced by solid-state sintering, *Optics Express*, 2020, vol. 28, № 19, pp. 28399–28413.
 15. Gusakova, N. V., Mudryi, A. V., Demesh, M. P., Yasukevich, A. S., Pavlyuk, A. A., Kornienko, A. A., Dunina, E. B., Khodasevich, I. A., Orlovich, V. A., Kuleshov, N. V. (2018), Growth and spectroscopic properties of $\text{Tm}^{3+}:\text{NaBi}(\text{MoO}_4)_2$ single crystal, *Optical Materials*, 2018, vol. 80, pp. 169–176.
 16. Avramov-Zamurovic, S., Esposito, J. M., Nelson, C. (2023), Classifying beams carrying orbital angular momentum with machine learning: tutorial, *Journal of the Optical Society of*

17. Konstantinidis, M., Lalla, E. A., Lopez-Reyes, G., Rodríguez-Mendoza, U. R., Lymer, E. A., Freemantle, J., Daly, M. G. (2021), Statistical Learning for the estimation of Judd-Ofelt parameters: A case study of Er^{3+} : doped tellurite glasses, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 235, pp. 118020.
18. Jia, B., Huang, L., Pilipchuk, A. S., Huang, S., Shen, C., Sadreev, A. F., Li, Y., Miroshnichenko, A. E. (2023), Bound States in the Continuum Protected by Reduced Symmetry of Three-Dimensional Open Acoustic Resonators, *Physical review applied*, 2023, vol. 19, pp. 054001–054012.

America A, 2023, vol. 40, № 1, pp. 64–77.

17. Konstantinidis, M., Lalla, E. A., Lopez-Reyes, G., Rodríguez-Mendoza, U. R., Lymer, E. A., Freemantle, J., Daly, M. G. (2021), Statistical Learning for the estimation of Judd-Ofelt parameters: A case study of Er^{3+} : doped tellurite glasses, *Journal of Luminescence*, 2021, vol. 235, pp. 118020.
18. Jia, B., Huang, L., Pilipchuk, A. S., Huang, S., Shen, C., Sadreev, A. F., Li, Y., Miroshnichenko, A. E. (2023), Bound States in the Continuum Protected by Reduced Symmetry of Three-Dimensional Open Acoustic Resonators, *Physical review applied*, 2023, vol. 19, pp. 054001–054012.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОРРОЗИИ БЕТОННОЙ ТРОТУАРНОЙ ПЛИТКИ

INVESTIGATION OF THE CORROSION PROCESS OF CONCRETE PAVEMENT TILES

УДК 620.193

И.А. Тимонов*, В.Ю. Сергеев, А.В. Гречаников
 Витебский государственный технологический
 университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-59-68>

I. Tsimanov*, V. Sergeyev, A. Hrachanikau
 Vitebsk State Technological
 University

РЕФЕРАТ

**КОРРОЗИЯ, БЕТОН, СКОРОСТЬ КОРРОЗИИ,
 ГЛУБИНА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА**

Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии является важнейшей и актуальной проблемой, решение которой направлено на увеличение срока службы конструкций и сооружений различного назначения. Целью данной статьи является оценка коррозии бетонной тротуарной плитки в результате воздействия на нее агрессивной водной среды. В качестве агрессивного компонента был выбран раствор щелочи (NaOH) (коррозия первого вида), который периодически сменялся (через 2, 7 и 14 суток). Результаты исследования процесса коррозии I вида тротуарной плитки позволили определить основные кинетические зависимости процессов коррозии и скорость коррозии. На основании полученных зависимостей установлено, что диффузионно-кинетическая область коррозии для бетонной тротуарной плитки наступает через 7 суток. По истечении 14 суток наступает диффузионная область коррозии. Рассчитана глубина разрушения бетона тротуарной плитки на момент окончания испытаний (0,017 см) и прогнозируемая глубина разрушения на срок эксплуатации изделия (0,18 см). В результате экспериментальных исследований установлено, что оценку качества изделия можно проводить не только по физико-механическим свойствам, но и по долговечности и антикоррозионным свойствам. Целесообразность применения различных защитных мероприятий, варьирования компонентов состава смеси при изготовлении плитки и их эффективность можно оценивать путём сопо-

ABSTRACT

**CORROSION, CONCRETE, CORROSION RATE,
 CONCRETE BREAKDOWN DEPTH**

Protection of concrete and reinforced concrete structures against corrosion is an important and urgent problem, the solution of which is aimed at increasing the service life of structures and structures of various purposes. The purpose of this article is to study corrosion of concrete paving tiles as a result of the effect on it of an aggressive aquatic environment. The solution of alkali (NaOH) (Type I corrosion) was selected as the aggressive component and was replaced periodically (after 2, 7 and 14 days). The results of the investigation of the corrosion process Type I of paving tiles allowed to determine the main kinetic dependencies of corrosion processes and corrosion rate. Based on the obtained dependencies, it is determined that the diffusion kinetic corrosion area for concrete paving tiles occurs after 7 days. After 14 days, there will be a diffusion corrosion area. The fracture depth of the pavement concrete at the time of the end of the test (0.017 cm) and the predicted fracture depth for the life of the product (0.18 cm) have been calculated. As a result of experimental studies, it has been determined that the quality assessment of the product can be carried out not only on physical and mechanical properties, but also on durability and anti-corrosion properties. The appropriateness of different protection measures, the variation of components of the mixture composition in the manufacture of tiles and their effectiveness can be assessed by comparing the corrosion rate and the fracture depth of protected and unprotected concrete.

* E-mail: timonov1@mail.ru (I. Tsimanov)

ставления величин скорости коррозии и глубины разрушения защищенного и незащищенного бетона.

Бетон и железобетон во всем мире признаны одними из самых экономичных, экологически чистых, надежных и долговечных строительных материалов. В индустриально развитых странах на одного жителя затрачивается в год до 2 м³ бетона и железобетона [1]. Никакие другие конструкционные материалы так широко не используются во всех отраслях.

Такое широкое применение обусловлено объективными факторами, главными из которых являются: уникальность физико-механических свойств материала, удовлетворяющих требованиям самых разнообразных зданий и сооружений гражданского, промышленного, гидротехнического, транспортного, энергетического и других видов строительства; удовлетворение архитектурных требований при проектировании зданий и сооружений различного функционального назначения; практически неисчерпаемые запасы природного, в том числе и местного, сырья для их производства с возможностью замены его техногенными отходами различных отраслей промышленности; сравнительно низкая энергоемкость исходных материалов и технологических процессов изготовления бетона и железобетона и конструкций из них [2].

Таким образом, основную долю строительных конструкций зданий и сооружений, эксплуатируемых в настоящее время, составляют железобетонные элементы и конструкции различных типов. Большинство таких изделий эксплуатируются в различных воздушных и влажных средах, их долговечность во многом определяется концентрацией и степенью агрессивности содержащихся в них компонентов [1].

Поврежденность в них определяют в основном физические и химические процессы (размораживание бетона, выщелачивание, карбонизация, сульфатная коррозия и др.), обусловливаемые агрессивностью эксплуатационной среды, а также коррозия стальной арматуры, являющаяся, в первую очередь, следствием снижения защитных свойств бетона по отноше-

нию к стальной арматуре под воздействием различных агрессивных факторов [1]. В настоящее время установлено, что разрушающему воздействию атмосферных и производственных сред подвергается порядка 75 % всех строительных конструкций различного назначения, что приводит к значительным экономическим потерям.

Коррозия бетона – это процесс разрушения конструкций в результате воздействия на их структуру различных внешних агрессивных сред, или вследствие внутренних химических и физико-химических процессов. Бетонные конструкции постоянно контактируют с окружающей средой – подвергаются влиянию сточных и грунтовых вод, дождя и снега, солнечной радиации, промерзают при низких температурах и нагреваются при высоких. Из-за этого в цементном камне происходят реакции, которые разрушают структуру камня. Экономические потери в результате снижения долговечности и прочности эксплуатируемых сооружений очень велики. Заблаговременно выявляя факторы коррозии бетона и железобетона, изучая закономерности процессов, можно существенно сократить финансовые риски и повысить надежность и долговечность объектов гражданского и промышленного строительства.

Большой вклад в исследования по изучению механизма коррозии внёс профессор В.М. Москвин. Первые результаты исследований опубликованы в 1952 г. в монографии «Коррозия бетона» и в дальнейшем развиты в лаборатории по долговечности и коррозии бетона и железобетона при Научно-исследовательском институте железобетона. В этих исследованиях было показано, что коррозия бетона представляет собой комплекс сложных гетерогенных физико-химических процессов. Исходя из этого, коррозию бетона можно представить как результат последовательно или параллельно протекающих более простых процессов и выделить из этих процессов те, которые в наибольшей степени, определяют скорость развития коррозионного процесса в

целом. Такой подход позволяет спрогнозировать сроки службы бетона и железобетона в конкретных агрессивных условиях эксплуатации [2].

Исследование Москвиным В.М. разнообразных процессов коррозии, развивающихся в бетоне при действии на него грунтовых и промышленных вод, позволило классифицировать основные виды коррозии. На основе полученных экспериментальных данных и накопленного опыта эксплуатации конструкций процессы, протекающие при коррозии бетона, были разделены на три основных вида [3].

Коррозия первого вида объединяет процессы, связанные с выщелачиванием растворимых частей бетона под действием воды-среды (воды с малой бикарбонатной щелочностью). Такой процесс называется выщелачиванием извести. Он представляет опасность поскольку известь является составляющей всех цементов. Коррозия этого вида очень опасна в тонкостенных конструкциях и в конструкциях, работающих под напором воды, когда составные части цементного камня могут растворяться и вымываться водой. Наиболее легко растворимым продуктом гидратации цемента является гидрат окиси кальция, выщелачивание которого ведет к гидролизу цементного клинкера.

Второй вид – процессы, связанные с обменными реакциями между компонентами цементного камня бетона и агрессивной средой с образованием на поверхности корродирующего бетона продуктов коррозии, не обладающих вяжущими свойствами (воды, содержащие кислоты, соли магния и др.). Наиболее часто встречается под действием углекислых вод. Углекислота H_2CO_3 присутствует, как правило, во всех водах. В поверхностных слоях бетона, соприкасающихся с такими водами, идет разрушение структурных элементов гидратированного цементного камня, а иногда и негидратированных зерен цементного клинкера. Образующиеся компоненты не обладают достаточной плотностью, чтобы воспрепятствовать дальнейшему проникновению агрессивной среды. Они смываются, растворяются, и обнажаются более глубокие слои бетона. Процесс называется кислотной коррозией.

Третий вид – процессы, связанные с образованием и накоплением в бетоне кристаллизующихся в порах бетона солей (воды, содержа-

щие сульфаты и др.). Такие соли создают в порах и капиллярах бетона внутреннее напряжение, вызывающее разрушение материала. К наиболее распространенным в природных водах сернокислым солям, которые называются сульфатными, относятся сернокислый кальций (гипс), сернокислый натрий и сернокислый магний. В пористых структурах бетона процессы образования солей отмечаются во всем объеме материала. Таким образом, под действием сульфатов бетон разрушается тем интенсивнее, чем больше его пористость и проницаемость. Это сульфатная коррозия.

Степень воздействия жидких агрессивных сред на бетон определяется видом и концентрацией агрессивных веществ, температурой, условиями контакта с конструкцией и зависит от структуры и состава цементного камня и бетона. Наиболее распространены и представляют опасность для бетона промышленные жидкие агрессивные среды и природные воды, содержащие органические и неорганические кислоты, сульфаты и магниевые соли.

Коррозионные процессы ускоряются при увеличении содержания агрессивных веществ, повышении температуры среды, при действии среды под напором и в условиях, когда происходит отвод продуктов реакции с поверхности конструкции.

При действии на бетон промышленных и грунтовых вод часто имеет место одновременное протекание процессов различных видов коррозии.

Вопросам коррозии бетона и железобетона посвящено много работ. Например, в работе [4] рассмотрены исследования долговечности железобетонных конструкций с трещинами, эксплуатирующихся в различных агрессивных условиях, в работе [5] исследовано коррозионное воздействие агрессивных сред на железобетонные конструкции перевалочного комплекса нефтепродуктов. В работе [6] изучен процесс коррозии железобетонных конструкций шельфовых сооружений. В работах [7, 8] представлены результаты исследования процессов коррозионной деструкции железобетонных изделий в агрессивных средах с хлорид-ионами, а также жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности.

Цель настоящей работы – определение влияния раствора щелочи (коррозия первого вида) на цементный камень бетонной тротуарной плитки с добавками неорганических отходов теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), изготовленной на ОАО «Обольский керамический завод».

Для проведения исследований коррозии на ОАО «Обольский керамический завод» были изготовлены образцы тротуарной плитки. По физико-механическим свойствам изготовленная тротуарная плитка соответствует требованиям СТБ 1071-2007 «Плиты бетонные и железобетонные для тротуаров дорог» [9]. Согласно технологическому регламенту ОАО «Обольский керамический завод», расход цемента на изготовление изделия составлял 430 кг/м^3 , содержание CaO в цементе – 60 %, процент вложения неорганических отходов ТЭЦ составил – 5 %. Исследования физико-механических свойств плитки, а также структурных процессов, происходящих при изготовлении плитки, авторами рассмотрены в работах [10, 11]. В производственной лаборатории ОАО «Обольский керамический завод» долговечность изделия прогнозировалась по параметрам морозостойкости и водопоглощения, что не полностью учитывает агрессивность влажной среды.

Изготовление и подготовка образцов, используемая аппаратура и растворы, методика испытаний и обработка результатов осуществлялись согласно «Руководству по определению скорости коррозии цементного камня, раствора и бетона в жидких агрессивных средах» [12].

Испытание образцов проводилось следующим образом. Образцы тротуарной плитки, изготовленные в виде кубиков с размером грани 6 см , находились в растворе щелочи (NaOH) $0,1 \text{ Н}$ концентрации в течение 23 суток от начала испытаний. Исследование процесса коррозии проводилось в стационарных условиях. Образцы находились в стеклянных емкостях с плотно прилегающими крышками. Раствор щелочи (NaOH) периодически сменялся (через 2, 7 и 14 суток). Объем раствора, участвовавшего во взаимодействии с образцами в стеклянной емкости, составлял 1000 мл . Емкости с исследуемыми образцами заливались рабочим раствором, и по изменению концентрации по иону OH^- которых в процессе испытания рассчитывалась скорость

коррозии.

Согласно работе [12], под скоростью коррозии понимается количество вещества, которое вступило во взаимодействие или перешло в агрессивный раствор в единицу времени с единицы поверхности исследуемого образца, $\text{мг}/(\text{см}^2 \cdot \text{сут})$.

В работе для расчёта скорости коррозии бетона сначала определяли количество агрессивного компонента, который химически взаимодействовал с бетоном плитки за период времени τ , $\text{мг}/\text{см}^2$ (формула (1)).

$$P_{\text{OH}^-} = (C_1 - C_2) \times Q / 1000 \times S, \quad (1)$$

где C_1 – концентрация исходного раствора по иону OH^- щелочи, $\text{мг}/\text{л}$; C_2 – концентрация раствора после взаимодействия с бетоном плитки, $\text{мг}/\text{л}$; Q – объем раствора, участвовавшего во взаимодействии с бетоном плитки, мл ; S – площадь незащищенной поверхности образца, см^2 .

Концентрация раствора щелочи определялась методом прямого титрования стандартным раствором кислоты в присутствии индикатора метилового оранжевого.

Затем проводился расчет скорости коррозии V по формуле (2)

$$V = P_{\text{OH}^-} / \tau, \quad (2)$$

где τ – период испытаний, сут .

Результаты проведенных исследований и расчётов представлены в таблице 1.

В результате проведенных исследований установлено, что скорость коррозии бетона – величина переменная во времени (рисунок 1).

Анализ рисунка 1 показывает, что диффузионно-кинетическая область коррозии для бетонной тротуарной плитки наступает через 7 суток. В этой области изменение скорости коррозии незначительно. Кроме того, для этой области характерна прямолинейная зависимость глубины разрушения бетона от корня квадратного из времени, что иллюстрирует рисунок 2.

Таблица 1 – Результаты исследований коррозии бетонной тротуарной плитки

Наименование определений	Начало испытаний	Окончание испытаний
Объем раствора, <i>мл</i>	1000	1000
Поверхность взаимодействия, <i>см²</i>	216	216
Концентрация исходного раствора по иону <i>ОН⁻</i> , <i>С_р</i> , <i>мг/л</i>	3600	3867
Концентрация раствора после взаимодействия с бетоном по иону <i>ОН⁻</i> , <i>С₂</i> , <i>мг/л</i>	3227	3560

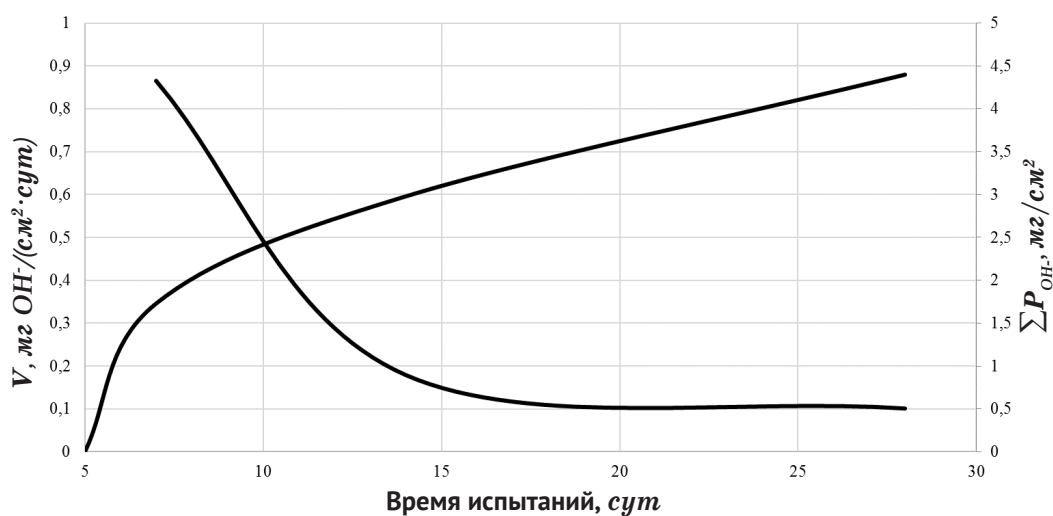


Рисунок 1 – Основные кинетические зависимости процессов коррозии бетонной тротуарной плитки

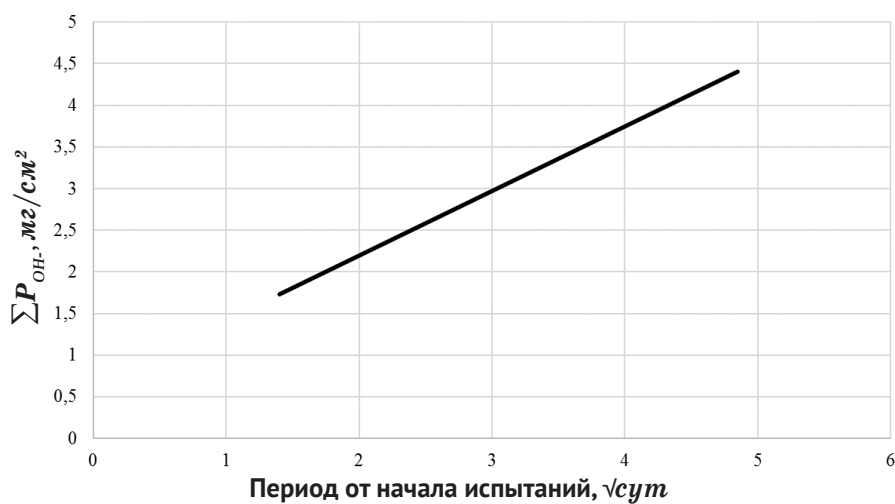


Рисунок 2 – Кинетическая зависимость процесса коррозии бетонной тротуарной плитки в диффузионно-кинетической и диффузионной областях

По истечении 14 суток наступает диффузионная область коррозии. Для этой области характерно то, что величину скорости процесса коррозии основное влияние диффузия реагирующих веществ к реакционной поверхности образца.

Что касается длительности коррозии бетона в диффузионно-кинетической области (время выхода процесса на прямую), то она зависит от структуры и толщины слоя продуктов коррозии, концентрации агрессивной составляющей в воде-среде, условий эксплуатации конструкций и других факторов. По разным данным она может составлять от 5 до 60 суток (рисунок 2).

Полученные в результате экспериментальных исследований данные по скорости коррозии бетона в тротуарной плитке использовались для дальнейшего расчета глубины разрушения бетона.

Глубину разрушения Γ_p , см, бетона тротуарной плитки к моменту окончания срока испытания рассчитывали по формуле (3):

$$\Gamma_p = \sum P_{OH-} / \Pi \times \beta, \quad (3)$$

где $\sum P_{OH-}$ – количество агрессивного компонента, вошедшего в химическое взаимодействие с цементным камнем или бетоном, отнесенное к единице площади реагирующей поверхности образца, г/см²; Π – количество цемента в 1 см³ исследуемого образца, рассчитывается по фактическому составу образцов, г/см³; β – содержание СаО в цементе, %, определяемое по результатам химического анализа цемента.

Количество ионов агрессивной среды $\sum P_{OH-}$ при расчете глубины разрушения бетона плитки определяли суммированием P_{OH-} за каждый период испытания (2, 7 и 14 суток):

$$\sum P_{OH-} = P_{1OH-} + P_{2OH-} + P_{3OH-}, \quad (4)$$

$$\Gamma_p = 0,0044 / 0,43 \times 0,6 = 0,017 \text{ см.} \quad (5)$$

По результатам экспериментальных исследований может быть рассчитана глубина разрушения цементного камня, раствора или бетона не только к моменту окончания срока испытания, но и в более поздние сроки (например, на расчетный, по физико-механическим свойствам, срок эксплуатации конструкции).

В диффузионной области коррозии, как было указано выше, характерна зависимость глубины разрушения бетона от корня квадратного из времени (зависимость $\sum P_{OH-} = f(\sqrt{t})$). Эту зависимость можно представить следующим видом:

$$\sum P_{OH-} = a + K \times \sqrt{t}, \quad (6)$$

где a – постоянная, учитывающая влияние процессов, протекающих в диффузионно-кинетической области; K – экспериментальная величина, определяемая как тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс на графике кинетическая зависимости процесса коррозии бетона в диффузионно-кинетической и диффузионной областях (рисунок 2), г/(см² · сут).

Для учета погрешности в расчетах вместо параметра a вводится множитель $(1-\alpha)$, в котором поправочный коэффициент α , определяется по формуле (7):

$$\alpha = \sum P_{1OH-} / \sum P_{2OH-}, \quad (7)$$

где $\sum P_{1OH-}$ – количество цементного камня в пересчете на OH^- , вошедшее во взаимодействие с агрессивной средой в диффузионно-кинетической области (до установления прямолинейной зависимости); $\sum P_{2OH-}$ – количество цементного камня в пересчете на OH^- , вошедшее во взаимодействие с агрессивной средой с начала эксперимента к расчетному сроку глубины разрушения.

Величина этого коэффициента α учитывается в дальнейших расчетах только при значении более 0,1. Исходя из этого условия, глубину разрушения бетона рассчитывают по формулам (8) либо (9):

$$\Gamma_p = (1 - \alpha) \times K \times \sqrt{\tau} / (\Pi \times \beta), (\text{при } \alpha > 0,1), \quad (8)$$

$$\Gamma_p = K \times \sqrt{\tau} / (\Pi \times \beta), (\text{при } \alpha < 0,1), \quad (9)$$

где τ – время, для которого прогнозируется глубина разрушения, **сут**.

Используя данные, полученные в результате исследования процесса коррозии, проведен расчёт глубины разрушения бетона плитки на общий срок времени эксплуатации плитки (10 лет).

Используя зависимость, представленную на рисунке 2, получаем коэффициент $K = 0,785 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^2 \cdot \text{сут}$. Учитывая время эксплуатации плитки 10 лет или 3650 суток, получаем значение параметра $\alpha = 1,73/47 = 0,039$.

Так как значение коэффициента $\alpha < 0,1$, то расчет глубины разрушения бетона плитки производили по формуле (10):

$$\Gamma_p = 0,785 \times 10^{-3} \times \sqrt{3650} / (0,43 \times 0,6) = 0,18 \text{ см}. \quad (10)$$

Рассчитанные значения глубины разрушения бетона тротуарной плитки на момент окончания испытаний (0,017 **см**) и прогнозируемая глубина разрушения на срок эксплуатации изделия (0,18 **см**) показывают хорошие антикоррозион-

ные свойства плитки. Это связано с её высокой плотностью, прочностью и водонепроницаемостью, а также применением активных добавок в процессе изготовления.

Вывод

Полученные результаты исследования процесса коррозии I вида тротуарной плитки позволили определить основные кинетические зависимости процессов коррозии и скорость коррозии. На основании полученных зависимостей установлено, что диффузионно-кинетическая область коррозии для бетонной тротуарной плитки наступает через 7 суток. По истечении 14 суток наступает диффузионная область коррозии. Рассчитана глубина разрушения бетона тротуарной плитки на момент окончания испытаний (0,017 **см**) и прогнозируемая глубина разрушения на срок эксплуатации изделия (0,18 **см**). Полученные значения глубины разрушения бетона показывают хорошие антикоррозионные свойства плитки. В результате экспериментальных исследований установлено, что оценку качества изделия можно проводить не только по физико-механическим свойствам, но и по долговечности и антикоррозионным свойствам. Целесообразность применения различных защитных мероприятий, варьирования компонентов состава смеси при изготовлении плитки и их эффективность можно оценивать путём сопоставления величин скорости коррозии и глубины разрушения защищенного и незащищенного бетона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев, А. А. (2020), К вопросу объективности современной оценки и прогнозирования карбонизации бетона на основе индикаторного метода, *Вестник Брестского государственного технического университета*, 2020, № 1, С. 80.
2. Яковлев, В. В. (2000), *Прогнозирование коррозионной стойкости бетона и железобетона в агрессивных жидких и газовых средах* : авторе-

REFERENCES

1. Vasiliev, A. A. (2020), On the issue of objectivity of modern assessment and forecasting of concrete carbonization based on the indicator method [K voprosu ob'ektivnosti sovremennoy otsenki i prognozirovaniya karbonizatsii betona na osnove indikatornogo metod], *Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Bulletin of Brest State Technical University*, 2020, № 1, p. 80.

- ферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, Самара, Самарская государственная архитектурно-строительная академия, 38 с.
3. Степанова, В. Ф. (2014), *Долговечность бетона : учебное пособие для вузов*, Москва, 2014, 126 с.
 4. Мигунов, В. Н. (2013), *Экспериментально-теоретическое исследование коррозии и долговечности железобетонных конструкций с трещинами : монография*, Пенза, ПГУАС, 2013, 332 с.
 5. Пачина, Н. А., Никитин, С. Е. (2019), Коррозионные воздействия на железобетонные конструкции перевалочного комплекса нефтепродуктов, *Alfabuild*, 2019, № 4(11), С. 23–33.
 6. Шалый, Е. Е., Леонович, С. Н., Ким, Л. В. (2017), Исследование процессов и механизма коррозии шельфовых сооружений острова Сахалин, Проблемы современного бетона и железобетона, *Сборник научных трудов*, Минск, Институт БелНИИС, 2017, Выпуск 9, С. 476–495.
 7. Федосов, С. В., Румянцева, В. Е., Коновалова, В. С. (2016), Исследование процессов коррозионной деструкции железобетонных изделий в агрессивных средах с хлорид-ионами, *Вестник гражданских инженеров*, 2016, № 5(56), С. 61–67.
 8. Федосов, С. В., Румянцева, В. Е., Коновалова, В. С., Караваев, И. В., (2017), Жидкостная коррозия бетонов в среде с различной степенью агрессивности, *Вестник гражданских инженеров*, 2017, № 4(63), С. 113–118.
 9. СТБ 1071–2007. *Плиты бетонные и железобетонные для тротуаров дорог. Технические условия*, Введ. 2008-03-01, Минск, Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2008, 15 с.
 2. Yakovlev, V. V. (2000), *Prognozirovanie korrozionnoy stoykosti betona i zhelezobetona v agressivnykh zhidkikh i gazovykh sredakh : avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni doktora tekhnicheskikh nauk po spetsial'nosti 05.23.05 – Stroitel'nye materialy i izdeliya* [Forecasting the corrosion resistance of concrete and reinforced concrete in aggressive liquid and gas environments: abstract of a dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.23.05 – Construction materials and products], Samara, Samara State Academy of Architecture and Civil Engineering, 38 p.
 3. Stepanova, V. F. (2014), *Dolgovechnost' betona : uchebnoe posobie dlya vuzov* [Durability of concrete: textbook for universities], Moscow, 2014, 126 p.
 4. Migunov, V. N. (2013), *Eksperimental'no-teoreticheskoe issledovanie korrozii i dolgovechnosti zhelezobetonnykh konstruktсий s treshchinami : monografiya* [Experimental and theoretical study of corrosion and durability of reinforced concrete structures with cracks: monograph], Penza, PGUAS, 2013, 332 p.
 5. Pachina, N. A., Nikitin, S. E. (2019), Corrosion effects on reinforced concrete structures of an oil products transshipment complex [Korroziionnye vozdeystviya na zhelezobetonnye konstruktсии perevalochnogo kompleksa nefteproduktov], *Alfabuild*, 2019, № 4(11), pp. 23–33.
 6. Shaly, E. E., Leonovich, S. N., Kim, L. V. (2017), Study of the processes and mechanism of corrosion of offshore structures on Sakhalin Island [Issledovanie protsessov i mekhanizma korrozii shel'fovykh sooruzheniy ostrova Sakhalin], Problems of modern concrete and reinforced concrete, *Collection of scientific papers*, Minsk, BelNIIS Institute, 2017, Issue 9, pp. 476–495.
 7. Fedosov, S. V., Rumyantseva, V. E., Konovalova, V. S. (2016), Study of the processes of corrosion destruction of reinforced concrete products in aggressive environments with

10. Ковчур, А. С., Гречаников, А. В., Манак, П. И., Ковчур, С. Г. (2018), *Комплексное использование неорганических отходов водонасосных станций и теплоэлектроцентралей : монография*, Витебск, ВГТУ, 2018, 165 с.
11. Ковчур, А. С., Манак, П. И., Ковчур, С. Г., Потоцкий, В. Н., Сергеев, В. Ю. (2019), Строительные материалы общего назначения с добавкой техногенных продуктов химической водоподготовки ТЭЦ, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2019, № 1(36), С. 147.
12. *Руководство по определению скорости коррозии цементного камня, раствора и бетона в жидких агрессивных средах*, Москва, Научно-исследовательский институт бетона и железобетона, Стройиздат, 1975, 28 с.
13. Москвин, В. М., Иванов, Ф. М., Алексеев, С. Н., Гузеев, Е. А. (1980), *Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты*, Москва, Стройиздат, 1980, 536 с.
8. Fedosov, S. V., Rumyantseva, V. E., Konovalova, V. S., Karavaev, I. V., (2017), Zhidkostnaya korroziya betonov v srede s razlichnoy stepen'yu agressivnosti [Liquid corrosion of concrete in environments with varying degrees of aggressiveness], *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2017, № 4(63), pp. 113–118.
9. STB 1071-2007. *Plates concrete and reinforced concrete for sidewalks of roads. Technical specifications*, Entered 2008-03-01, Minsk, The Ministry of Architecture of Republic of Belarus publ., 2008, 15 p.
10. Kauchur, A., Hrachanikau, A., Manak, P., Kauchur, S. (2018), *Kompleksnoe ispol'zovanie neorganicheskikh otkhodov vodonasosnykh stantsiy i teploelektrotsentralей : monografiya* [Integrated use of inorganic wastes of water pump stations and thermal power centers: monograph], Vitebsk, VSTU, 2018, 165 p.
11. Kovchur, A. S., Manak, P. I., Kovchur, S. G., Pototsky, V. N., Sergeev, V. Yu. (2019), Constructional materials of general purpose with additive of technogenic products of chemical water treatment of CHPP [Stroitel'nye materialy obshchego naznacheniya s dobavkoy tekhnogennykh produktov khimicheskoy vodopodgotovki TETs], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2019, № 1(36), P. 147.
12. *Rukovodstvo po opredeleniyu skorosti korrozii tsementnogo kamnya, rastvora i betona v zhidkikh agressivnykh sredakh* [Guidelines for determining the corrosion rate of cement stone, mortar and concrete in liquid aggressive environments], Moscow, Research Institute of concrete and reinforced concrete, Stroyizdat, 1975, 28 p.

13. Moskvina, V. M., Ivanov, F. M., Alekseev, S. N., Guzeev, E. A. (1980), *Korroziya betona i zhelezobetona, metody ikh zashchity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection], Moscow, Stroyizdat, 1980, 536 p.

Статья поступила в редакцию 06.09.2023 г.

КОНЦЕНТРАЦИЯ БАНКОВСКОГО РЫНКА В БЕЛАРУСИ: ВЛИЯНИЕ НА КОНКУРЕНТНУЮ СРЕДУ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ЕЕ ОПТИМИЗАЦИИ

CONCENTRATION OF THE BANKING MARKET IN BELARUS: IMPACT ON THE COMPETITIVE ENVIRONMENT AND PROPOSALS FOR ITS OPTIMIZATION

УДК 336.71

О.А. Золотарева*, О.В. Сидская

Полесский государственный университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-69-81>

O. Zolotareva*, O. Sidskaya

Polesky State University

РЕФЕРАТ

КОНЦЕНТРАЦИЯ БАНКОВСКОГО РЫНКА, ПОКАЗАТЕЛИ КОНЦЕНТРАЦИИ, ОПТИМАЛЬНАЯ КОНКУРЕНТНАЯ СРЕДА, ОЛИГОПОЛИЯ, ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ПРОДУКТОВ

Актуальность статьи определяется тем, что развитие конкуренции на банковском рынке является важным фактором эффективного функционирования финансовой системы страны, способствует снижению стоимости услуг, улучшению качества и инновационному развитию, приводит к улучшению условий для клиентов банков.

Основная проблема, которая решается в статье – это высокая степень концентрации банковского сектора в Беларуси и ее влияние на конкурентную среду. Предложения по оптимизации основаны на анализе текущей ситуации и обоснованы актуальными исследованиями.

Цель статьи – определить влияние концентрации банковского рынка на конкурентную среду в Беларуси и предложить меры для ее оптимизации.

Методы исследования, примененные в статье: анализ концентрации банковского рынка Беларуси с использованием различных индексов отраслевой концентрации, таких как индекс концентрации, коэффициент Херфиндаля – Хиршмана, индекс Ханна и Кея и других показателей; общенаучные методы – обобщение, сравнение, системный метод.

ABSTRACT

BANKING MARKET CONCENTRATION, CONCENTRATION INDICES, OPTIMAL COMPETITIVE ENVIRONMENT, OLIGOPOLY, PRODUCT DIFFERENTIATION

The relevance of the article is determined by the fact that the development of competition in the banking market is an important factor in the effective functioning of the country's financial system; it helps to reduce the cost of services, improve quality and innovative development, and leads to improved conditions for bank customers.

The main problem that is solved in the article is the high degree of concentration of the banking sector in Belarus and its impact on the competitive environment. Optimization suggestions are based on an analysis of the current situation and substantiated by current research.

The purpose of the article is to determine the impact of banking market concentration on the competitive environment in Belarus and propose measures for its optimization.

Research methods used in the article: analysis of the concentration of the Belarusian banking market using various indices of industry concentration, such as the concentration index, the Herfindahl – Hirschman coefficient, the Hann and Kay index and other indicators; general scientific methods are generalization, comparison, and system method.

Results. The article defines what is the optimal competitive environment in the banking market, de-

* E-mail: olgaztv@gmail.com (O. Zolotareva)

В статье определено, что такое оптимальная конкурентная среда на банковском рынке, определены критерии оптимальности, рассчитаны коэффициенты концентрации банковского рынка Беларуси за 10 лет. На основе расчета значений показателей концентрации сделан вывод о том, что банковский рынок Беларуси имеет олигополистическую структуру. Показано, что концентрация банковской деятельности сопровождается также ее централизацией, о чем свидетельствует сокращение количества банков, количества филиалов банков, числа работающих в банковской системе. В статье предложено формирование оптимальной модели конкуренции для банковской системы Беларуси, которая бы являлась промежуточной между дифференцированной олигополией и монополистической конкуренцией. Предложены способы дифференциации банковских продуктов и услуг.

Исследование степени концентрации банковского рынка Беларуси и влияния на конкурентную среду может помочь регуляторам и участникам финансового рынка в разработке эффективных мер по оптимизации и разнообразию предлагаемых услуг, а также повышению качества обслуживания.

fines the optimality criteria, calculates the concentration coefficients of the Belarusian banking market for 10 years. Based on the calculation of the values of the concentration indicators, it was concluded that the banking market of Belarus has an oligopolistic structure. It is shown that the concentration of banking activity is also accompanied by its centralization, as evidenced by the reduction in the number of banks, the number of bank branches, and the number of employees in the banking system. The article proposes the formation of an optimal competition model for the banking system of Belarus, which would be intermediate between a differentiated oligopoly and monopolistic competition. Methods for differentiating banking products and services are proposed.

Оптимальная конкурентная среда на рынке банковских услуг – это такая среда, в которой конкуренция между банками побуждает их к повышению качества услуг, снижению цен, увеличению эффективности и инновационности, обеспечению высокого уровня защиты интересов клиентов и финансовой стабильности банковской системы в целом.

Критерии оптимальности конкурентной среды банков могут варьироваться в зависимости от конкретных условий рынка и целей, которые преследует регулятор. Однако можно выделить несколько общих критериев, которые могут быть использованы для оценки оптимальности конкурентной среды банков:

1. Количество участников рынка: оптимальная конкурентная среда должна обеспечивать достаточное количество участников рынка, чтобы предотвратить монополизацию, но не настолько много, чтобы рынок был перенасыщен.

2. Уровень концентрации рынка: оптимальная конкурентная среда имеет определенный уровень концентрации рынка, который обеспечивает достаточное соперничество между участниками рынка.

3. Степень свободы входа на рынок: оптимальная конкурентная среда обеспечивает свободный доступ на рынок для новых участников.

4. Уровень прозрачности рынка: оптимальная конкурентная среда предполагает высокий уровень прозрачности, чтобы все участники рынка имели равные возможности и информацию для принятия решений.

5. Степень регулирования: уровень регулирования в оптимальной конкурентной среде обеспечивает защиту прав потребителей, предотвращает монополизацию и способствует стабильности рынка, и в тоже время не ограничивает свободу предпринимательства и инноваций.

6. Уровень дифференциации продуктов и услуг: оптимальная конкурентная среда предполагает достаточный уровень дифференциации продуктов и услуг, чтобы стимулировать конкуренцию на основе качества и инноваций, но в то же время не настолько высокий, чтобы привести к снижению доступности и повышению цен.

7. Уровень прибыльности: оптимальная конкурентная среда обеспечивает прибыльность, чтобы привлекать новых участников на рынок, и стабильность для существующих участников, в то же время регулятору необходимо минимизировать факторы, приводящие к монопольной прибыли.

Эти критерии могут служить основой для оценки оптимальности конкурентной среды банков.

В целом можно сделать вывод, что оптимальная конкурентная среда предполагает отсутствие монопольных позиций на рынке, свободный доступ к информации, равные условия для всех участников рынка, адекватное регулирование деятельности банков со стороны государственных органов и наличие эффективной системы контроля за деятельностью банков на соответствие законодательству и нормам этики.

В странах постсоветского пространства главной особенностью конкурентной среды банковских систем является наличие высокой концентрации банковского капитала в руках нескольких крупных банков. Исследуем состояние конкурентной среды банковского сектора Беларуси по критерию концентрации более подробно. Для этого применим следующие показатели отраслевой концентрации:

Индекс концентрации CR_k – показывает долю нескольких крупнейших фирм (банков) в общем объеме того или иного показателя:

$$CR_k = \sum_{i=1}^k Y_i, \quad (1)$$

где Y_i – рыночная доля i -й фирмы (банка); k – число фирм (банков), для которых высчитывается этот показатель.

Индекс концентрации измеряется в относительных долях или процентах. Чем выше значения данного показателя, тем сильнее рыночная

власть крупнейших банков, степень концентрации на рынке и слабее конкуренция. Для одного и того же числа крупнейших банков чем больше степень концентрации, тем менее конкурентной является отрасль.

Индекс Херфиндала – Хиршмана HHI – показывает долю нескольких крупнейших банков в общем объеме того или иного показателя:

$$HHI = \sum_{i=1}^n Y_i^2, \quad (2)$$

где Y_i – рыночная доля i -го банка.

В Республике Беларусь придерживаются следующих границ данного показателя:

- 0 – минимальная концентрация;
- <0,10 – низкий уровень концентрации;
- от 0,10 до 0,18 – средний уровень концентрации;
- >0,18 – высокий уровень концентрации.

Основным преимуществом индекса Херфиндала – Хиршмана является его способность достаточно чутко реагировать на перераспределение долей между банками, действующими на рынке.

Индекс Ханна и Кея ($HK(a)$) – суммируемые доли банков возводятся в любую удобную для исследователя степень, определяемую желаемым диапазоном изменения параметра:

$$HK(a) = \sum_{i=1}^n Y_i^a, \quad (3)$$

где $a > 0, a \neq 1$, Y_i – рыночная доля i -го банка; k – число банков, для которых высчитывается, тот показатель. $HK(a)$ использует долю рынка в качестве веса, являясь обобщенной версией HHI ($HK(a=2) = HHI$). Чем выше $HK(a)$, тем выше концентрация и, как ожидается, ниже уровень конкуренции.

Этот индекс меняется в пределах от 0 (совершенная конкуренция) до 1 (монополия). Если существует N одинаковых по размеру банков, то независимо от a индекс Ханна и Кея приобретает значение $1/N$. Если банки неоднородны по размеру, индекс становится больше. Значение a положительно влияет на индекс Ханна и Кея и

позволяет лучше диагностировать малые изменения.

Индекс Холла и Тайдмана (Розенблюта) (HT) – индекс, рассчитываемый на основе относительных рангов банков:

$$HT = \frac{1}{2 \sum_{i=1}^n R_i Y_i} - 1, \quad (4)$$

где R_i – ранг i -го банка; самому крупному присваивается ранг 1, остальным по нарастающей 2, 3 и т.д., Y_i – рыночная доля i -го банка; n – число банков.

Этот индекс меняется в пределах от 0 (совершенная конкуренция) до 1 – максимальное значение (монополия).

Индекс максимальной доли I_{max} – характеризует состояние рынка и степень интенсивности конкуренции на нем:

$$I_{max} = \frac{Y_{max} - \bar{Y}}{Y_{max} + \bar{Y}}, \quad (5)$$

где Y_{max} – максимальная доля, $\bar{Y}$ – средняя арифметическая рыночных долей.

Если рынок монополизирован, то индекс стремится к 1. Интерпретация значений выглядит следующим образом:

$0,75 < I_{max} \leq 1$ – монополия

$0,50 < I_{max} \leq 0,75$ – олигополия

$0,25 < I_{max} \leq 0,50$ – монополистическая конкуренция

$0 < I_{max} \leq 0,25$ – совершенная конкуренция

Индекс энтропии E – показатель степени неравномерности (хаотичности) рынка:

- абсолютная энтропия

$$E_{abs} = \sum_{i=1}^n Y_i \ln \frac{1}{Y_i}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

где Y_i – рыночная доля i -го банка.

Индекс абсолютной энтропии меняется от 0 (монополия) до ∞ (совершенная конкуренция);

- относительная энтропия

$$E_{rel} = 1 - \frac{E_{abs}}{\ln n}, \quad (7)$$

где n – число банков.

Относительный индекс энтропии меняется от 0 (совершенная конкуренция) до 1 (монополия).

Дисперсия σ^2 – показатель неравномерности размеров фирм (банков):

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2, \quad (8)$$

где $\bar{Y}$ – средняя доля банка на рынке.

Чем больше величина дисперсии, тем более неравномерным и, следовательно, более концентрированным является рынок, тем слабее конкуренция и тем сильнее власть крупных банков на рынке. Если все банки контролируют одинаковую долю, то показатель дисперсии равен нулю.

Разброс логарифмов рыночных долей S^2 дает характеристику относительного размера банков:

$$S^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\ln Y_i - \ln \bar{Y})^2, \quad (9)$$

где $\bar{Y} = 1/n$.

Чем больше разброс, тем выше концентрация продавцов на рынке.

Индекс Джини G – показатель степени дифференциации долей банка в отрасли:

$$G = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |Y_i - Y_j|, \quad (10)$$

где Y_i – объем производства i -го банка, Y_j – объем производства j -го банка, n – общее число банков.

Для подсчета коэффициента Джини можно применять еще и такую формулу:

$$G = 1 - \frac{2 \sum_{i=1}^n (i \cdot Y_i) - 1}{n}$$

или

$$G = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((n-2 \cdot i + 1) \cdot Y_i),$$

где i – номер фирмы (ранг фирмы), начиная от самой крупной (ранг 1) и заканчивая самой мелкой; Y_i – рыночная доля банка; n – общее число банков на рынке.

Индекс Джини изменяется от 0 (абсолютная однородность фирм) до 1 (абсолютная неоднородность).

Для расчета индексов брался период 2013–2022 гг. по следующим параметрам банков: активы; собственный капитал; кредиты и средства клиентов; прибыль; обязательства; ценные бумаги.

Проанализировав динамику индексов концентрации для трех, пяти и десяти крупнейших банков по всей банковской системе можно сделать вывод, что рынок Республики Беларусь является высококонцентрированным. Лидиру-

ющие позиции занимают на рынке АСБ Беларусбанк, СберБанк, Приорбанк, Белгазпромбанк, Белагропромбанк, Альфа-Банк.

Степень рыночной концентрации, рассчитанная на основе индекса Херфиндаля – Хиршмана (по всем параметрам, кроме прибыли, выше 0,18) и индекса Ханна и Кея (при увеличении α мы придаем больший вес более крупным банкам, функционирующим на рынке, следовательно, значения всех рассчитанных параметров банков существенно уменьшаются), что говорит о формировании в банковской системе Беларуси олигополистической модели рынка.

По индексу Холла и Тайдмана распределение значения показателя по разным параметрам представлено на рисунке 1.

Минимальное значение, которое принимает индекс Холла и Тайдмана равно $1/n$ (n – число банков). В 2013–2014 гг. минимальное значение составило 0,03226, в 2016 г. – 0,03846, а в 2016–2022 гг. оно было равно 0,04167. Как видим из расчетов, данный индекс достаточно высок, что свидетельствует о неравномерности

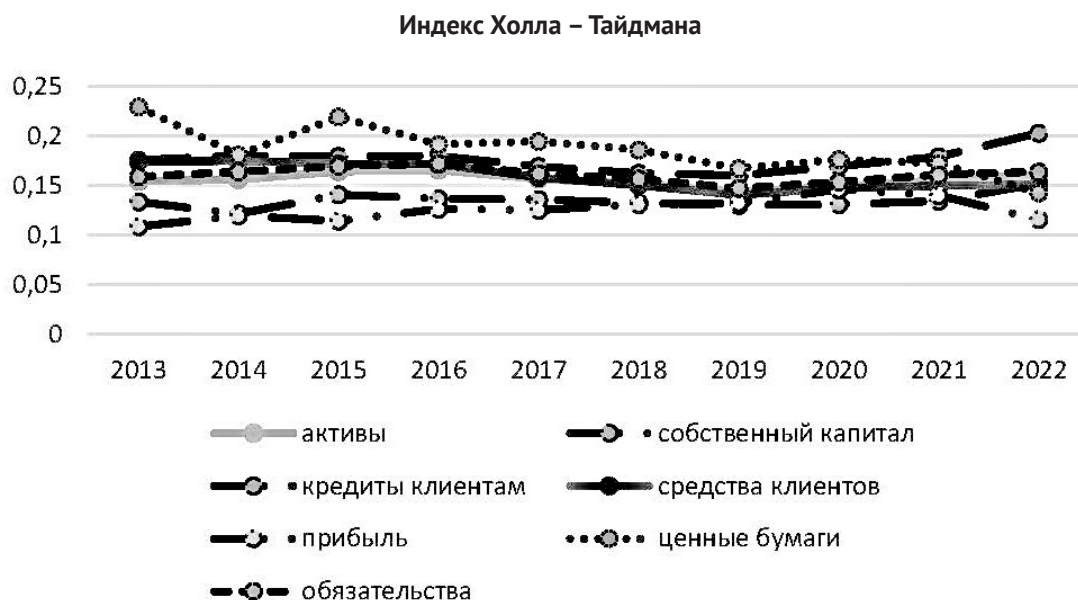


Рисунок 1 – Значения индекса Холла – Тайдмана для банковской системы Республики Беларусь

Источник: составлено авторами по данным [2, 3].

игроков.

Индекс максимальной доли для прибыли лежит в интервале от 0,65 до 0,81, по остальным показателям – в интервале от 0,81 до 0,88, что подтверждает олигополистический характер банковского рынка Беларуси.

Для прямого измерения степени конкуренции применяются показатели энтропии, в качестве меры неупорядоченности на рынке.

По индексу энтропии распределение значе-

ния показателя по разным параметрам представлено на рисунке 2.

Индекс относительной энтропии свидетельствует о наибольшем рассеивании по показателю «ценные бумаги». Рисунок 2 также подтверждает высокую концентрацию на банковском рынке Беларуси.

По дисперсии и разбросу рыночных долей распределение значения показателя по разным параметрам представлено на рисунке 3.

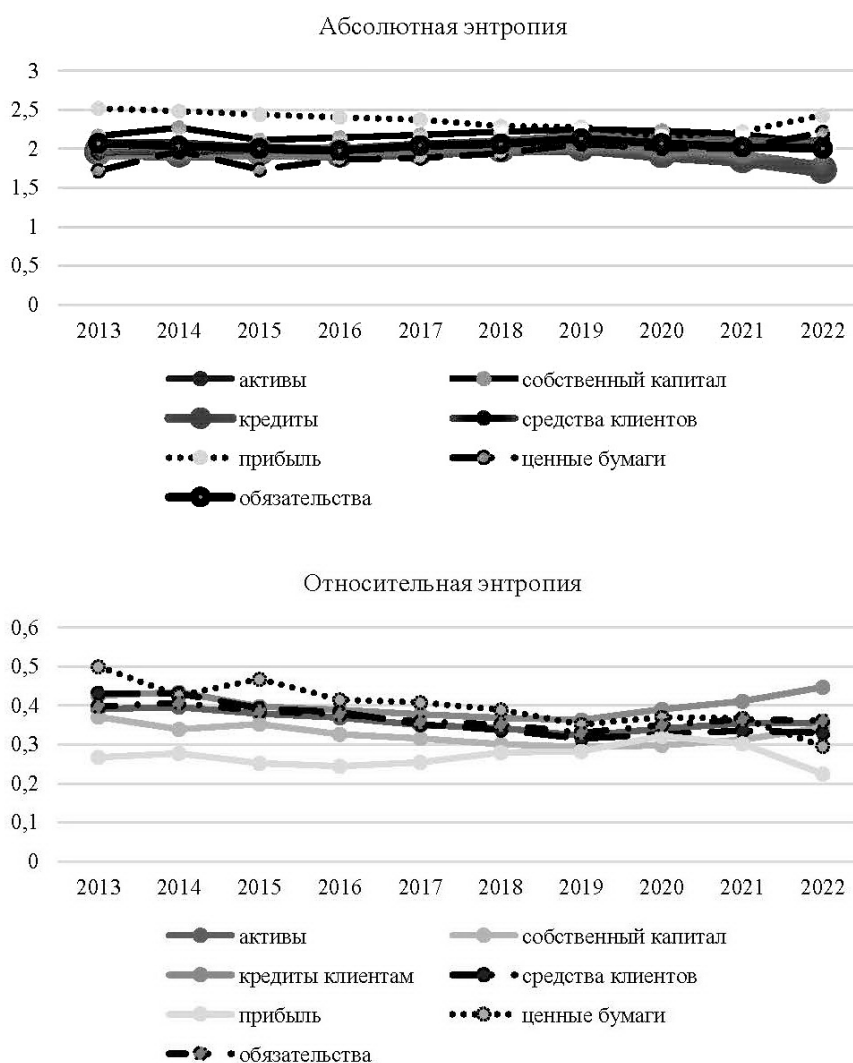


Рисунок 2 – Значения индекса энтропии для банковской системы Республики Беларусь

Источник: составлено авторами по данным [2, 3].

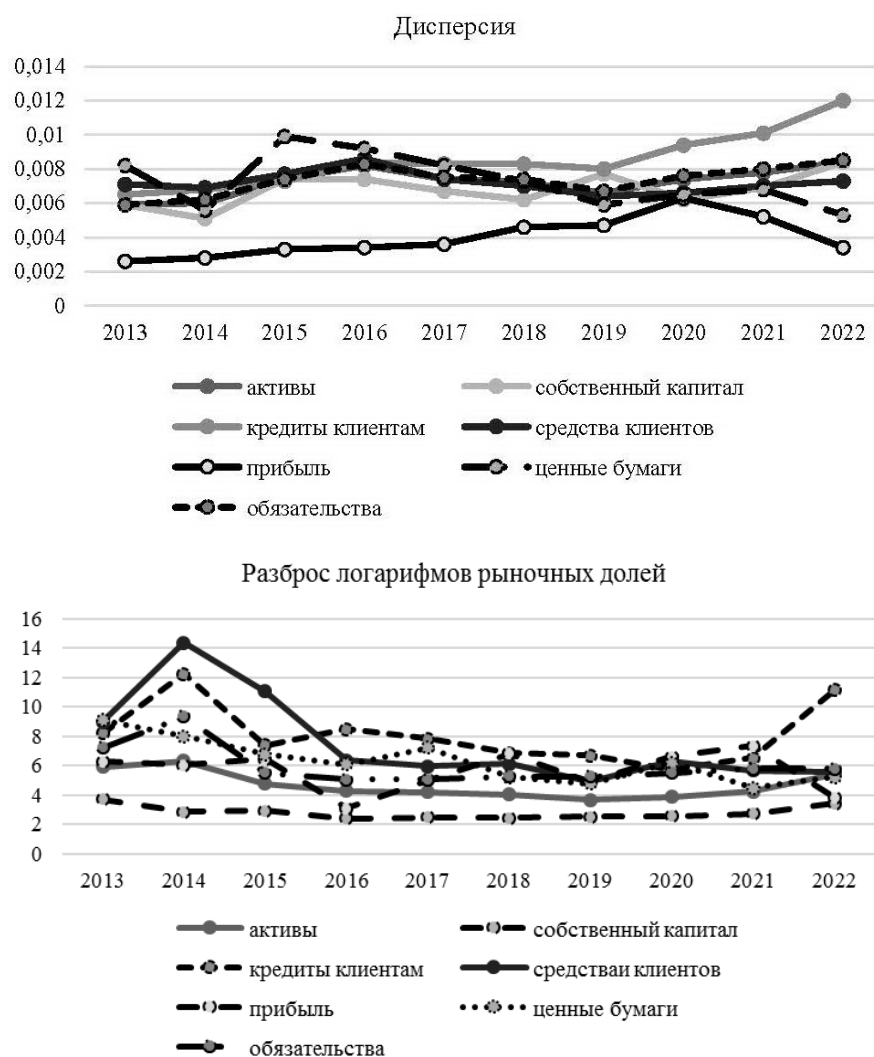


Рисунок 3 – Значения дисперсии и разброса логарифмов рыночных долей для банковской системы Республики Беларусь

Источник: составлено авторами по данным [2, 3].

Оба показателя – дисперсии и разброса логарифмов рыночных долей – имеют один и тот же экономический смысл, а именно, определение неравномерности распределения долей между участниками рынка, различаясь лишь размерностью и значениями. К тому же при расчете дисперсии применяются те же упрощения, что и при энтропии. Именно поэтому динамика данных индексов в целом совпадает.

Результаты расчета индекса Джини представлены на рисунке 4. Высокие значения индекса (в

среднем выше 0,7) говорят о неравномерности распределения рыночных долей между продавцами банковских услуг Республики Беларусь. Как отмечалось выше, чем больше значение данного показателя отклоняется от нуля и приближается к единице, тем в большей степени рыночная власть сконцентрирована в отдельных банках.

Таким образом, расчеты индексов концентрации в целом показывают высокий уровень концентрации банковской деятельности в Республике Беларусь и свидетельствуют об олиго-

Индекс Джини

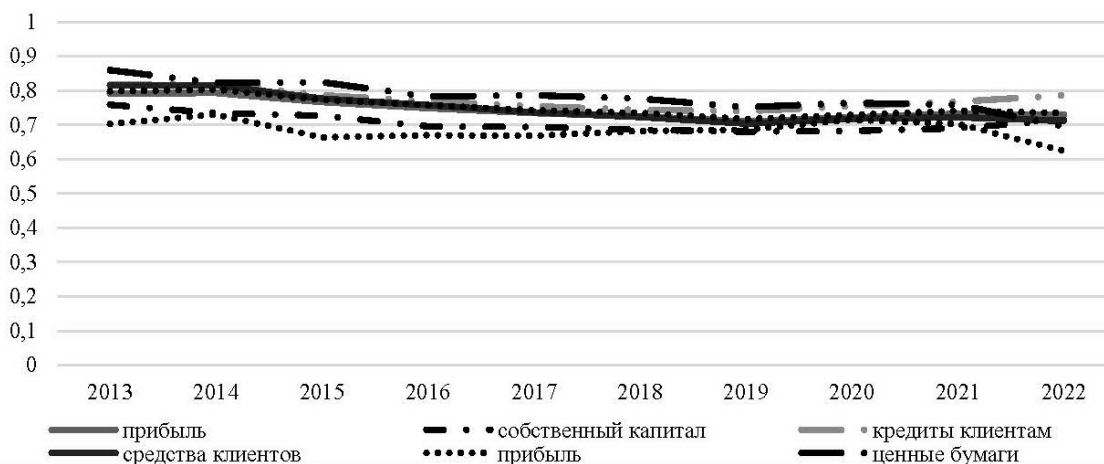


Рисунок 4 – Значения индекса Джини для банковской системы Республики Беларусь

Источник: составлено авторами по данным [2, 3].

полистическом характере банковского рынка Беларуси.

И хотя термин «олигополистический рынок» имеет негативную коннотацию, существуют аргументы в пользу высокой концентрации рынка в банковской отрасли (таблица 1).

Важным фактором, способствующим росту концентрации банковского рынка Беларуси, стала тенденция к централизации банковской деятельности.

Если банковская концентрация – это процесс объединения различных банков в один крупный банк путем приобретения акций других банков или их слияния, то централизация – это перемещение контроля из децентрализованных структур в более централизованные. Концентрация в банковском секторе может быть выражена не только в объединении различных банков в одну большую структуру, но и в сокращении числа банков в стране, как это и происходило в последние годы в Беларуси. Централизация же выражается в сокращении количества филиалов и объединении различных подразделений банка в единую управленческую структуру. Также централизация может включать перенос управленческих функций в головной офис, таких как ре-

шение кредитных вопросов, принятие решений по стратегии банка, управление рисками и др. Централизация в отличие от банковской концентрации происходит на уровне одного банка.

На рисунке 5 показана динамика сокращения количества банков и их филиалов в Республике Беларусь с 2003 по 2023 годы, что свидетельствует и о росте концентрации банковского рынка, и о нарастающей централизации банковской деятельности в стране.

Сокращение филиалов и централизация управления сопровождается сокращением числа работающих в банковской системе. Так, с 2014 по 2022 год численность сотрудников финансовой системы сократилась на 16,2 тыс. человек или 22,8 % (рисунок 6), что произошло в основном за счет сокращения сотрудников банков.

Из имеющихся на сайте ОАО «АСБ Беларусбанк» данных следует, что за период с 2015 по 2021 годы среднесписочная численность работающих в этом банке сократилась на 7,54 тыс. человек или на 38,6 %.

Тенденции к концентрации и централизации банковской деятельности является общемировой. Банки объединяются, сокращают количество подразделений, чтобы повысить свою эффектив-

Таблица 1 – Преимущества и недостатки концентрации в банковской сфере

Аргументы в пользу концентрации	Опасения, связанные с высокой концентрацией
экономия масштаба: крупные банки снижают издержки за счет использования экономии масштаба, что может приводить к более эффективному использованию ресурсов и дает возможность снизить цены на продукты и услуги	ограничение конкуренции, как правило, приводит к повышению цен на продукты и услуги, а также ухудшению качества обслуживания клиентов
более широкий спектр продуктов и услуг: крупные банки имеют возможность предоставить более широкий спектр продуктов и услуг, что повышает уровень удовлетворенности клиентов банков	ограничение доступности финансовых услуг: крупные банки могут быть менее заинтересованы в обслуживании населения, живущего в отдаленных районах, что приводит к ограничению доступности финансовых услуг; крупные банки менее склонны к предоставлению кредитов малому и среднему бизнесу, что может препятствовать их развитию и росту
более высокий уровень безопасности: крупные банки обладают более высоким уровнем безопасности, что уменьшает риски для клиентов и вкладчиков	риски безопасности: крупные банки могут стать целью кибератак, что может привести к утечке конфиденциальной информации клиентов и серьезным финансовым потерям
более высокий уровень инноваций: крупные банки имеют большие возможности для инноваций и развития новых продуктов и услуг, что повышает удовлетворенность потребителей	отсутствие гибкости: крупные банки менее гибкие в своих решениях и более склонны к консервативному подходу к управлению, что может затормозить инновации и адаптацию к изменяющимся условиям рынка
крупные банки также обладают большей финансовой стабильностью и способностью выдерживать экономические кризисы	слишком большие банки могут стать системно значимыми, что повышает риск возникновения финансовых кризисов в случае неудачной деятельности этих банков
более высокий уровень профессионализма: крупные банки могут иметь более высокий уровень профессионализма и компетенции у своих сотрудников, что может привести к более высокому качеству обслуживания клиентов	в крупных банках, где клиентская база более многообразна, может возникнуть проблема недостаточного профессионального разнообразия и специализации сотрудников, что негативно отражается на качестве обслуживания и профессионализме сотрудников

Источник: собственная разработка.

ность, улучшить свои услуги и снизить издержки. Так, в США в 2019 году BB&T и SunTrust объединились в Truist Financial, что привело к созданию шестого по величине банка в стране. В Испании также произошла консолидация банковской системы. В 2017 году было объявлено о слиянии Banco Popular и Banco Santander, что привело к созданию крупнейшего банка в стране. Тем не менее, что в ряде развитых стран (Германия,

Канада, Италия, Япония) малые и средние банки продолжают успешно конкурировать с крупными банками.

Повышение концентрации банковской деятельности может быть автономным процессом, не связанным с процессом централизации банковской деятельности, и определяться экономическими кризисами, изменениями в законодательстве и другими факторами. Но, как

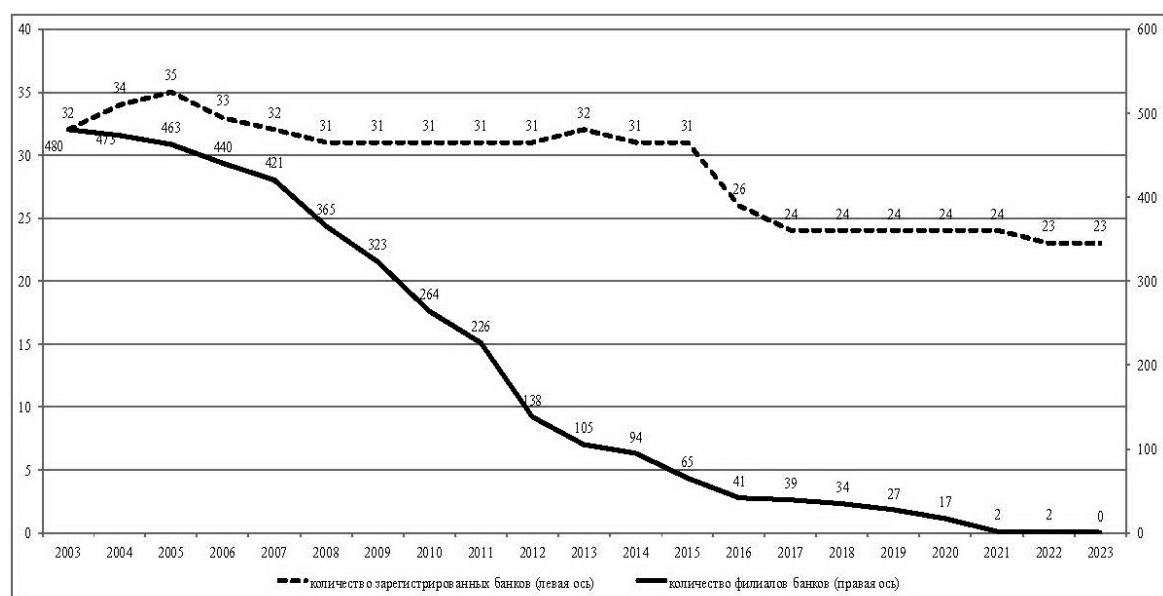


Рисунок 5 – Динамика количества банков и филиалов в Республике Беларусь в 2003–2023 гг.

Источник: составлено авторами по данным [3].

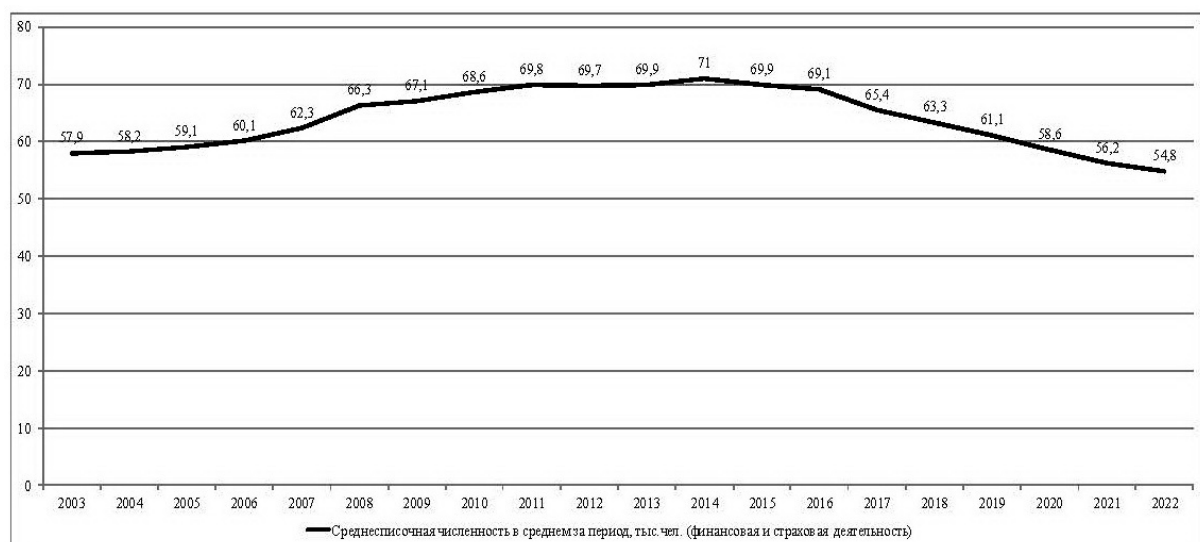


Рисунок 6 – Динамика среднесписочной численности в финансовой сфере

Источник: составлено авторами по данным [4].

правило, концентрация и централизация взаимобуславливают друг друга. Централизация банковской деятельности может способствовать повышению концентрации (монополизации) банковской деятельности, поскольку она приводит к уменьшению количества банков на рынке и увеличению их размеров. Кроме того, централизация банковской деятельности может привести к однородности банковских продуктов и услуг, поскольку головному банку в таком случае будет легче контролировать и управлять региональной сетью, что может негативно отразиться на удовлетворенности потребителей. Однородность продуктов при высокой концентрации рынка является одним из признаков его высокой монополизации. В свою очередь, развитие филиальной сети с приданием филиалам управленческих функций означает большую дифференциацию продукции и большую удовлетворенность потребностей разных категорий клиентов. Кроме того, такая децентрализация позволяет филиалам быстрее реагировать на изменения рынка и локальные потребности, что является важным преимуществом в условиях конкуренции.

Как известно, по уровню конкуренции выделяют четыре типа рыночных структур: совершенная конкуренция, монополистическая конкуренция, олигополия, монополия.

На первый взгляд для любого рынка оптимальным типом рыночной структуры является совершенная конкуренция, которая побуждает фирмы улучшать качество своих товаров (услуг), снижать их стоимость и предлагать наиболее выгодные условия для потребителей. Но совершенная конкуренция на современном банковском рынке практически невозможна из-за установления регулятором значительных входных барьеров, таких как лицензирование и требования к капиталу, которые могут ограничивать возможность появления новых игроков на рынке. Чистая монополия на банковском рынке также практически исключена. Банковские рынки обычно подвержены конкуренции среди нескольких банков и финансовых институтов, что предотвращает возникновение и удержание монополистической позиции на рынке. Кроме того, регуляторы, как правило, ставят ограничения на концентрацию банков. Монополистическая конкуренция как тип рыночной

структуры характеризуется наличием множества небольших банков, интенсивной конкуренцией на основе дифференциации продуктов, что может привести к снижению прибыльности банков и неблагоприятно отразиться на стабильности банковской системы в целом, особенно в случае экономических кризисов.

Олигополия является достаточно распространенным типом рыночной структуры в банковском секторе многих стран. В Беларуси, как видно из проведенного выше анализа, на банковском рынке также доминирует именно этот тип рыночной структуры. Недостатки олигополистической модели рынка могут быть отчасти смягчены регулированием и надзором со стороны государства, а также развитием технологий, которые могут усилить конкуренцию и расширить доступ к финансовым услугам. Увеличению конкуренции может способствовать и развитие дифференциации продуктов и услуг банков. И в этом смысле дифференцированная олигополия – это более предпочтительный тип рыночной структуры в сравнении с недифференцированной. Она стимулирует более интенсивную конкуренцию между банками, которые более активно разрабатывают новые и инновационные продукты, улучшают качество обслуживания и предлагают клиентам разнообразные варианты для выбора. Таким образом, переход от олигополии к дифференцированной олигополии обычно способствует более высокому уровню конкуренции и выгодам для потребителей.

Мы считаем возможным формирование гибридной рыночной структуры, которая бы являлась промежуточной между дифференцированной олигополией и монополистической конкуренцией в банковской системе Беларуси. В таком случае, на рынке присутствуют несколько крупных банков, которые контролируют значительную часть рынка, но имеют различные уровни дифференциации продуктов и услуг. Такие банки могут соревноваться друг с другом на основе качества обслуживания, инноваций, процентных ставок и других факторов. Одновременно на рынке могут быть и мелкие независимые банки, которые предлагают специализированные услуги или обслуживают узкие клиентские сегменты. Этот тип рыночной структуры позволяет сохранить некоторую степень конкуренции,

при этом обеспечивая стабильность и эффективность банковской системе страны.

В заключение мы предлагаем некоторые способы дифференциации банковских продуктов и услуг:

1. Предложение банками продуктов, отличающихся от тех, которые предлагают конкуренты в отрасли: счета с более высоким процентом по депозитам, кредитные карты с привлекательным процентом, страхование жизни и т.д.

2. Высококачественное обслуживание через быстрое обслуживание, дружелюбный персонал, техническую поддержку, онлайн-банкинг и мобильные приложения и т.д.

3. Инновации, такие как новые способы связи и общения с клиентами или новые технологии, могут привлечь внимание клиентов и помочь банку дифференцировать свои продукты.

4. Банки могут дифференцироваться на основании своей репутации, идентификации поку-

пателей с брендом, рекомендаций от знакомых, отзывов и рейтингов в Интернете.

5. Местоположение банка может играть важную роль. Банки могут охватывать определенные географические регионы и служить клиентам, которые ищут кредиты или другие продукты, связанные с этими регионами.

6. Развитие филиальной сети, что может стать отличительной чертой предложения, особенно для клиентов, которые предпочитают личный подход. Поэтому стратегия расширения сети филиалов может привлечь новых клиентов и удержать тех, что уже есть.

В дальнейших исследованиях мы планируем более детально рассмотреть уровень дифференциации продуктов и услуг на банковском рынке Беларуси, а также проанализировать состояние конкурентной среды в банковском секторе страны на основе всех обозначенных в данной статье критериев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Артемьева, Н.А., Быкова, О.И., Быков, А.И. (2018), Концентрация и централизация банковского капитала в Республике Беларусь, *Вестник Белорусского государственного экономического университета*, 2018, № 4, С. 49–58.
2. Бывшев, В.А., Трегуб, И.В. (2023), Оценка уровня конкуренции в банковской системе Российской Федерации и роль в конкуренции малых банков, *Финансовые рынки и банки*, 2023, № 2, С. 61–66.
3. Леонович, Т.И. (2007), Конкурентная среда на рынке банковских продуктов и услуг, *Банкаўскі веснік*, 2007, № 25/390, С. 23–31.
4. Сидская, О.В. (2019), Особенности концентрации банковского сектора в Республике Беларусь, *Экономика и банки: научно-практический журнал*, 2019, № 1, С. 40–50.

REFERENCES

1. Artemyeva, N. A., Bykova, O. I., Bykov, A. I. (2018), Concentration and centralization of banking capital in the Republic of Belarus [Koncentraciya i centralizaciya bankovskogo kapitala v Respublike Belarus'], *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Belarusian State Economic University Bulletin*, 2018, № 4, pp. 49–58.
2. Former, V. A., Tregub, I. V. (2023), Assessment of the level of competition in the banking system of the Russian Federation and the role of small banks in competition [Ocenka urovnya konkurencii v bankovskoj sisteme Rossijskoj Federacii i rol' v konkurencii malyh bankov], *Finansovye rynki i banki – Financial markets and banks*, 2023, № 2, pp. 61–66.
3. Leonovich, T. I. (2007), Competitive environment in the market of banking products and services [Konkurentnaya sreda na rynke bankovskih produktov i uslug], *Bankayski vesnik – Banking*

5. *Национальный банк Республики Беларусь*, (2023) режим доступа: <https://www.nbrb.by>, дата доступа: 13.06.2023.
6. *Национальный статистический комитет Республики Беларусь*, (2023) режим доступа: <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>, дата доступа: 30.06.2023.
4. Sidskaya, O. V. (2019), Features of the concentration of the banking sector in the Republic of Belarus [Osobennosti koncentracii bankovskogo sektora v Respublike Belarus'], *Ekonomika i banki: nauchno-prakticheskij zhurnal – Economics and banks: scientific and practical journal*, 2019, № 1, pp. 40–50.
5. *National Bank of the Republic of Belarus*, (2023) [Nacional'nyj bank Respubliki Belarus'], access mode: <https://www.nbrb.by>, accessed: 13.06.2023.
6. *National Statistical Committee of the Republic of Belarus*, (2023) [Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus', (2023)], access mode <http://dataportal.belstat.gov.by/Indicators/Search?code=1063066>, accessed: 30.06.2023.

Статья поступила в редакцию 04.08.2023 г.

АНАЛИЗ УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ И ЕЕ РЕГИОНОВ

ANALYSIS OF THE DIGITALIZATION LEVEL OF THE ECONOMY OF THE REPUBLIC OF BELARUS AND ITS REGIONS

УДК 332.05

И.Н. Калиновская*

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-82-94>
I. Kalinouskaya*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ЭКОНОМИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ, ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, РЕЙТИНГ ГОСУДАРСТВ ПО УРОВНЮ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Вопросы информатизации и развития цифровой экономики в Республике Беларусь вызывают особый интерес со стороны государства, юридических лиц и населения страны. В Беларуси активно разрабатывается нормативно-правовая база для развития цифровой экономики, внедряются современные цифровые технологии во все отрасли экономики, повышается уровень цифровой грамотности населения. Цифровизация является важным компонентом развития экономики, улучшения качества жизни населения и повышения эффективности государственного управления.

Целью проводимых исследований являлось получение картины об уровне цифровизации Республики Беларусь и ее регионов с помощью национальных и международных критериев оценки и определения рейтинга. В качестве методологической основы исследования использовались общенаучный, системный и комплексный подход, методы анализа, синтеза, сравнительного и экономико-статистического анализа. В информационную базу исследования вошли материалы Национального статистического комитета, данные Парка высоких технологий и результаты международных исследований по установлению рейтингов цифровизации государств. Установлено, что Республика Беларусь относится к пер-

ABSTRACT

DIGITALIZATION OF THE ECONOMY, INDICATORS OF THE LEVEL OF DIGITALIZATION, DIGITAL TRANSFORMATION, DIGITALIZATION OF THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF BELARUS, THE RATING OF STATES BY THE LEVEL OF DIGITALIZATION

The issues of informatization and development of the digital economy in the Republic of Belarus are of particular interest to the state, legal entities and individuals. Belarus is actively developing a regulatory framework for the development of the digital economy, introducing modern digital technologies in all sectors of the economy, increasing the level of digital literacy among people. Digitalization is an important component of economic development, improving the quality of life and the efficiency of public administration.

The purpose of the research was to make a picture of the level of digitalization of the Republic of Belarus and its regions using national and international evaluation criteria and rating determination. The methodological basis of the study was a general scientific, systematic and integrated approach, methods of analysis, synthesis, comparative and economic-statistical analysis. The information base of the study includes materials from the National Statistical Committee, data from the Hi-Tech Park and the results of international studies on the establishment of digitalization ratings of states. It is determined that the Republic of Belarus belongs to a promising group of countries in terms of the level of digital transformation of the economy, and its position on the main international indicators in the field of digitalization of the economy is defined as

* E-mail: i-kalinovskaya@yandex.by (I. Kalinouskaya)

спективной группе стран по уровню цифровой трансформации экономики, а ее положение по основным международным показателям в области цифровизации экономики определено как среднее. В качестве регионов, с наибольшим уровнем цифровизации, выделены г. Минск, Минская и Гомельская область.

average. Minsk, the Minsk region and the Gomel region are singled out as the regions with the highest level of digitalization.

Введение

Цифровизация экономики становится неотъемлемой частью стратегии развития стран и регионов, является важным компонентом экономики, качества жизни населения и эффективности государственного управления. Она способствует привлечению инвестиций, созданию новых рабочих мест и повышению уровня жизни населения. Кроме того, цифровые технологии стимулируют инновации, улучшают качество обслуживания граждан и способствуют устойчивому экономическому росту. Быстрые темпы технологического развития и распространенность информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) приводят к трансформации традиционных секторов экономики и созданию новых возможностей для инноваций и роста.

Цифровизация – процесс перехода на цифровые технологии, распространяющийся на все сферы жизни общества, в результате чего появляется возможность использования новейших технологий для наиболее эффективного выполнения операций, а также возможность использования цифровых технологий для деятельности, осуществление которой ранее не было возможным [1].

Развитие цифровой экономики в Республике Беларусь отражено в ряде нормативно-правовых актов:

- Законе Республики Беларусь «Об информации, информатизации и защите информации» (принят 10 ноября 2008 г. № 455-3);
- Указе Президента Республики Беларусь «О некоторых вопросах информатизации» (подписан 2 декабря 2013 г. № 531);
- Указе Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.» (подписан 7 мая 2020 г.

№ 156);

- Декрете Президента Республики Беларусь «О развитии цифровой экономики» (принят 21 декабря 2017 г. № 8);

- Постановлении правительства о мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации» (принято 21 апреля 2023 г. № 280);

- Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг., (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 2 февраля 2021 г. № 66).

Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» включает в себя меры по развитию информационно-коммуникационных технологий, повышению квалификации населения в области информационных технологий, развитию электронной коммерции и государственных услуг, а также улучшению качества и доступности образования. Среди мероприятий, реализуемых в рамках программы, важно отметить следующие [2]:

1. С целью снижения «цифрового неравенства» и создания цифровой инфраструктуры, реализуется развертывание высокоскоростных интернет-сетей и развитие мобильной связи, что позволяет гражданам и бизнесу Беларуси более широко использовать цифровые технологии и услуги. В рамках реализации данного мероприятия в 2021 году:

- прирост абонентов, подключенных к IMS-платформе, составил 116,0 тыс., при этом абонентская база достигла уровня 3 731,4 тыс. абонентов;

- построено и введено в эксплуатацию более 634 км магистральных и межстанционных волоконно-оптических линий электросвязи, прирост абонентов сети составил 99,3 тыс. (при плане –

70,0 тыс.), а общее количество абонентов достигло 2 838,9 тыс.;

- охват населения Республики Беларусь услугами сотовой подвижной электросвязи по технологии LTE (4G) составил 97,4 % при покрытии сетью LTE 76,7 % территории страны;

2. Для подготовки квалифицированных кадров, специалистов по внедрению информационных технологий и повышения квалификации населения в области информационных технологий, начата подготовка к разработке образовательной платформы для повышения «цифровой грамотности» населения страны, а также образовательного контента для курсов повышения квалификации работников государственных органов и организаций по вопросам цифрового развития;

3. В целях цифровой трансформации экономики, развития электронной коммерции и государственных услуг:

- развивается автоматизированная информационная система (АИС) «Расчет налогов»;

- АИС аудиовизуальных документов для учреждения «Белорусский государственный архив кинофотофонодокументов»;

- разрабатывается «витрина цифровых проектов» – площадка для размещения, изучения и анализа результатов проектов, реализованных для цифрового развития государства, отрасли, организации;

- разрабатывается республиканская информационная система автоматизированного мониторинга окружающей среды;

- ведутся работы над интегрированной системой цифровой каталогизации товаров (продукции) Республики Беларусь;

- модернизирован Правовой форум Беларуси;

- развиваются функциональные возможности АИС «Награды»;

- разрабатывается и вводится в опытно-промышленную эксплуатацию Единая виртуальная выставка предприятий Министерства промышленности.

Однако, несмотря на достижения, еще есть ряд задач, которые предстоит решить для более полного и успешного внедрения цифровых технологий: повышение качества образования в области информационных технологий, развитие

системы защиты персональных данных, увеличение доступности цифровых услуг для населения, а также развитие цифровых инноваций.

Целью проводимых исследований являлось определение уровня цифровизации Республики Беларусь и ее регионов с помощью национальных и международных критериев оценки и разработка методики определения рейтинга цифровизации регионов, основывающейся на статистических данных.

При этом были решены следующие задачи:

- рассмотрены показатели, характеризующие уровень цифровизации экономики Республики Беларусь, разработанные Национальным статистическим комитетом;

- собраны данные о рейтинге Республики Беларусь, России и Казахстана по показателям, отражающим уровень доступа к широкополосному интернету и скорости передачи данных, цифровой грамотности населения страны, наличию цифровых государственных услуг, уровню использования цифровых технологий в различных отраслях экономики, инвестиций в развитие цифровой экономики и инфраструктуры, защиты информации и кибербезопасность;

- с помощью международных рейтингов определена эффективность и степень охвата цифровизацией Республики Беларусь;

- разработана методика определения рейтинга и уровня цифровизации регионов Беларуси, основывающаяся на статистических данных.

Анализ уровня цифровизации экономики Республики Беларусь

Определение уровня цифровизации является необходимым в современном мире, поскольку позволяет странам и регионам:

- оценить прогресс в развитии ИКТ и использовании цифровых решений, что дает возможность понять, насколько успешно интегрируются цифровые технологии в экономику и общество;

- выявить слабые места в ИКТ и цифровой инфраструктуре, что способствует установлению приоритетов в планировании и развитии цифровых инвестиций;

- сравнить достижения с другими регионами или странами, что предоставляет возможность обмена опытом, выявления эффективных подходов к цифровому развитию и создания стимулов для повышения эффективности цифровизации;

– понять существующие вызовы и возможности, что позволяет сформулировать эффективные стратегии и меры по развитию цифровой экономики и общества.

Для измерения уровня цифровизации экономики страны существует ряд методик, используемых международными и национальными организациями. Так, Национальным статистическим комитетом Республики Беларусь разработаны блоки показателей цифровизации: информационно-коммуникационная инфраструктура,

использование информационно-коммуникационных технологий населением и организациями, инфраструктура информатизации, цифровая трансформация, национальная индустрия информационно-коммуникационных технологий (таблица 1).

В Постановлении правительства № 280 о мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации» от 21 апреля

Таблица 1 – Показатели цифровизации экономики Республики Беларусь

Данные 2021 года

Блок показателей цифровизации экономики	Значение
1. Информационно-коммуникационная инфраструктура:	
– количество абонентов стационарного широкополосного доступа в интернет на 100 чел.;	35 абонентов
– количество абонентов беспроводного широкополосного доступа в интернет на 100 чел.	98 абонентов
2. Использование информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) населением и организациями:	
– процент населения, использующего сеть интернет (в возрасте 6–72 лет);	86,9 %
– процент населения, использующего сеть интернет ежедневно (в возрасте 6–72 лет);	72,8 %
– процент населения, использующего сеть интернет для осуществления финансовых операций (в возрасте 6–72 лет);	46,3 %
– процент населения, использующего сеть интернет для осуществления взаимодействия с органами государственного управления (в возрасте 6–72 лет)	26,7 %
3. Инфраструктура информатизации:	
– количество электронных услуг и административных процедур, оказанных посредством общегосударственной автоматизированной информационной системы на 100 чел.	194 единицы
4. Цифровая трансформация:	
– экспорт услуг сферы ИКТ (процент к общему объему экспорта услуг);	31,3 %
– импорт услуг сферы ИКТ (процент к общему объему импорта услуг)	8,7 %
5. Национальная индустрия ИКТ:	
– валовая добавленная стоимость организаций сектора ИКТ (к валовой добавленной стоимости, по экономике);	8,7 %
– объем производства продукции (работ, услуг) организаций сектора ИКТ (к общему объему производства (работ, услуг));	6,1 %
– иностранные инвестиции, поступившие в организации сектора ИКТ (к общему объему иностранных инвестиций);	9,9 %
– списочная численность работников организаций сектора ИКТ (к списочной численности работников организаций)	3,4 %

Источник: составлено автором по [3].

2023 г. установлены показатели уровня цифрового развития отраслей экономики и административно-территориальных единиц [4]:

- уровень внедрения технологий «электронного правительства»;
- уровень цифрового развития отраслей;
- уровень цифровой трансформации отрасли при использовании в ключевых бизнес-процессах современных технологий для работы с информацией: технологии искусственного интеллекта, технологии обработки и анализа больших массивов данных, технологии робототехники, технологии распределенного реестра, технологии беспроводной связи, технологии виртуальной и дополненной реальности;
- уровень внедрения и развития государственных цифровых платформ и информацион-

ных систем (ресурсов) в отрасли;

– уровень информатизации реального сектора экономики;

– уровень цифрового развития административно-территориальных единиц.

Для определения степени цифровизации государства международными организациями сформирован ряд показателей, отражающий уровень доступа к широкополосному интернету и скорости передачи данных, цифровую грамотность населения страны, наличие цифровых государственных услуг, уровень использования цифровых технологий в различных отраслях экономики, инвестиций в развитие цифровой экономики и инфраструктуры, защиты информации и кибербезопасность (таблица 2).

Таблица 2 – Рейтинг Республики Беларусь, Российской Федерации и Казахстана по международным показателям, оценивающим степень цифровизации экономики

Показатель	Рейтинг		
	Республика Беларусь	Российская Федерация	Казахстан
1. Уровень доступа к широкополосному интернету и скорости передачи данных (исследование Speedtest Global Index, 2023 г.)			
– по скорости средней загрузки интернета	68 место (85,55 Мбит/сек)	73 место (80,35 Мбит/сек)	79 место (76,55 Мбит/сек)
– по доступу к интернету на 1000 человек	не включена в рейтинг (598 точек доступа)	5 место (796 точек доступа)	44 место (444 точек доступа)
2. Цифровая грамотность населения (исследование Digital Quality of Life (DQL) Index, 2022 г.)	45 место	53 место	68 место
3. Наличие цифровых государственных услуг (исследование UN E-Government Survey, 2022 г.)	58 место	42 место	28 место
4. Уровень использования цифровых технологий в различных отраслях экономики (исследование Global Information Technology Report, 2022 г.)	53 место	55 место	69 место
5. Уровень инвестиций в развитие цифровой экономики и инфраструктуры (исследование Global Innovation Index, 2021 г.)	53 место	46 место	61 место
6. Уровень защиты информации и кибербезопасности (исследование Global Cybersecurity Index, 2021 г.)	54-е место	78-е место	92-е место

Источник: составлено автором по [5–10].

Республика Беларусь по уровню доступа к широкополосному интернету и скорости передачи данных, цифровой грамотности населения, уровню использования цифровых технологий в различных отраслях экономики, защите информации и кибербезопасности имеет более высокий рейтинг по сравнению с Российской Федерацией и Казахстаном, однако ей необходимо улучшить показатель наличия цифровых государственных услуг, в котором она уступает России 16 позиций, а Казахстану – 30.

С целью измерения эффективности и степени охвата цифровизацией государства в целом также используются следующие международные показатели:

1. Индекс цифровой экономики и общества (DESI) – показатель, разработанный Европейской комиссией и включающий в себя пять подиндексов: доступность и использование широкополосного доступа к интернету, умение использовать цифровые технологии, использование цифровых технологий, цифровая инфраструктура и цифровые услуги. По данному индексу в 2021 году Беларусь занимала 42 место среди 27 стран Европейского союза и еще 7 стран, которые не входят в ЕС. Максимальный показатель у страны – «Цифровая инфраструктура», в котором Беларусь достигла 5 места.

2. Индекс цифровой экономики (DEI) – ежегодный показатель, разработанный Всемирным экономическим форумом, и включающий в себя три категории: основы, инвестиции и зрелость. На 2021 год Беларусь не вошла в список из 50 стран, оцениваемых этим показателем.

3. Индекс развития информационного общества (IDI) – показатель, разработанный Международным союзом электросвязи, измеряющий уровень развития информационного общества в 193 странах и состоящий из 11 показателей: доступность, использование, навыки, содержание, безопасность, здравоохранение, экономика, управление, социальное включение, окружающая среда и инновации. На 2020 год Беларусь занимала 45 место среди 193 стран мира. Наиболее высокий показатель в стране у показателя «Навыки», где Беларусь получила 23 место.

4. Индекс готовности к цифровой экономике (DRI) – показатель, разработанный Международным институтом развития информационно-

го общества и организацией United Nations Conference on Trade and Development, состоящий из четырех основных показателей: доступность, экономическая и инновационная среда, качество инфраструктуры и навыки населения. На 2021 год Беларусь занимала 60 место среди 143 стран мира. Наиболее высокий показатель в стране у подкатегории «Экономическая и инновационная среда» – 36 место.

5. Индекс развития цифровой экономики и общества (IDEI) – показатель, разработанный Национальной ассоциацией управленческих кадров и информационных технологий (NACDIT) и Центром исследований по информационному обществу (CCIS) Китайской академии наук, включающий пять показателей: инфраструктура, использование, инновации, управление и воздействие. По состоянию на 2020 год Беларусь занимала 48 место среди 100 стран мира. Наиболее высокий показатель в стране у показателя «Инновации» – 23 место.

6. Индекс мировой цифровой конкурентоспособности (WDCI) – индекс, оценивающий конкурентоспособность стран в области цифровых технологий. По данным 2021 года Беларусь не включена в список 63 оцениваемых стран.

7. Индекс цифровизации экономики Boston Consulting Group (e-Intensity) – индекс, отражающий цифровую готовность экономик стран мира. В 2020 году Беларусь занимала 47 место среди 50 стран, включенных в индекс.

8. Индекс сетевой готовности (NRI) – индекс готовности стран к использованию информационно-коммуникационных технологий. В 2020 году Беларусь занимала 65 место среди 134 стран, включенных в индекс.

9. Индекс развития электронного правительства (EGDI). По данным на 2020 год Беларусь занимала 40 место среди 193 стран, включенных в индекс [11].

10. Индекс электронного участия граждан в цифровом обществе (EPART). В 2020 году Беларусь занимала 57 место среди 193 стран, включенных в индекс.

11. Индекс глобального подключения к цифровым технологиям (GCI). В 2020 году Беларусь занимала 62 место среди 79 стран, включенных в индекс.

12. Глобальный индекс инновационной активности (GII). В 2021 году Беларусь занимала 74 место среди 132 стран, включенных в индекс.

Однако используемые методы оценки цифровизации в большей степени связаны с информатизацией, применимы на уровне государства, не имеют в свободном доступе информации о составляющих показателях, сложны в расчете, проблематичны в интерпретации и описании полученных результатов. Таким образом, целесообразно предложить методику определения рейтинга цифровизации регионов, основывающийся на статистических данных, имеющихся в открытом доступе.

Методика определения рейтинга и уровня цифровизации регионов Республики Беларусь, основывающаяся на статистических данных

Сущность предлагаемой методики определения рейтинга и уровня цифровизации регионов Республики Беларусь, основывающейся на статистических данных, заключается в выставлении баллов от 1 (минимальное значение) до 7 (максимальное значение) по каждому выявленному показателю и их суммированию для конкретного региона.

В таблице 3 представлены исходные данные для определения рейтинга цифровизации регионов.

На основании данных таблицы 3 для каждого показателя по регионам выставлся балл, определяемый ранжированием показателя i -региона среди всех регионов Республики Беларусь (таблица 4).

Далее, по сумме полученных баллов рассчитывался уровень цифровизации региона (Y_u):

$$Y_u = \frac{B_i}{B_{max}} \times 100\%, \quad (1)$$

где B_i – сумма баллов i -региона, полученных по всем показателям; B_{max} – максимально возможная сумма баллов, полученных по всем показателям (133 балла).

Рассчитанные значения уровня цифровизации регионов, соотносились с данными шкалы:

1–20 – низкий уровень цифровизации региона;

21–40 – умеренный уровень цифровизации

региона;

41–60 – средний уровень цифровизации региона;

61–80 – высокий уровень цифровизации региона;

81–100 – очень высокий уровень цифровизации региона.

С целью визуализации полученных результатов составлялась карта уровня цифровизации регионов и г. Минска Республики Беларусь (рисунки 1).

В результате анализа данных по регионам Республики Беларусь можно отметить высокий уровень цифровизации областей Беларуси и г. Минска по выделенным показателям. В числе передовых регионов находится г. Минск, Минская и Гомельская область. Необходимы инвестиции в развитие цифровых технологий и повышение цифровой грамотности для Витебского и Могилевского регионов.

К региону с высоким уровнем цифровизации отнесен г. Минск (68,4 %); к регионам со средним уровнем – Минская (58,6 %), Гомельская (54,1 %), Брестская (52,6 %) и Гродненская область (41,0 %); умеренный уровень цифровизации выявлен у Витебской (40,2 %) и Могилевской области (39,8 %).

Различия в уровне цифровизации областей Беларуси объясняются разницей в формировании инфраструктуры регионов, уровнем развития технологических компаний и цифровой грамотностью населения.

Заключение

Республика Беларусь является перспективным государством по уровню цифровой трансформации экономики и общества – ее положение по основным международным показателям в области цифровизации экономики можно оценить как среднее.

Тем не менее, следует отметить, что Беларусь активно развивает свою цифровую экономику и инфраструктуру, и на сегодняшний день ряд мероприятий, улучшающих показатели страны в международных рейтингах, находятся в стадии реализации:

– в Беларуси были построены новые цифровые инфраструктуры, такие как центры обработки данных и инновационные парки, что способствовало развитию IT-индустрии и при-

Таблица 3 – Показатели уровня цифровизации г. Минска и регионов Республики Беларусь

Данные 2021 года

Показатель	Регион						
	г. Минск	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Минская область	Гродненская область	Могилевская область
Покрытие оптоволоконными линиями, абоненты	24788	17482	2030	17363	5758	7758	10081
Доля домохозяйств, подключенных к интернету, %	93	80,7	85,2	86,1	79,5	85,5	82,8
Процент организаций, имеющих широкополосный доступ в интернет, %	91,4	96,9	98,4	99,4	95,6	97	97,6
Процент организаций, имеющих беспроводной доступ в интернет, %	68,15	60,5	52,3	47,3	62,2	61,6	54,7
Оценка покрытия мобильной связью операторами МТС, А1, Life (зона уверенного приема), баллы*	7	5,5	1,5	5,5	4	1,5	3
Процент жителей региона, удовлетворенных качеством сотовой связи, %	92,9	95,4	97	98,4	97,6	97,5	97,6
Процент жителей региона, удовлетворенных качеством интернета, %	84,3	94,2	92,3	95	95,4	97,8	97,7
Количество операторов цифрового телевидения	34	13	6	3	7	5	6
Количество организаций сектора ИКТ	3721	262	214	293	440	232	179
Списочная численность специалистов ИКТ в организациях, чел.	75094	2550	2514	3619	3443	2566	1689
Процент пользователей интернета из числа жителей, %	70	74,3	85,2	76,9	72,1	68,4	60,2
Процент списочного состава работников организаций, использующих персональные компьютеры, %	56	73,4	77,1	75,7	78,2	73,2	74,6
Процент организаций, осуществляющих электронные продажи (закупки) товаров (работ, услуг), %	34,8	15,2	12,3	1	14,4	12,4	13,1
Число организаций, имеющих собственный веб-сайт	2966	577	435	518	695	486	386
Размер инвестиций в основной капитал организаций сектора ИКТ	368,2	55,1	56,3	46,3	111,2	35,6	50,8
Размер иностранных инвестиций, поступивших в организации сектора ИКТ	627,7	5,3	0,3	0,7	8,3	0,3	0,3
Количество бизнес-инкубаторов, научно-технологических парков, поддерживающих стартапы в регионе	7	3	3	3	6	3	4

Примечание: * балл определялся визуализацией карты зон уверенного приема мобильной связи, полученной методом наложения данных операторов сотовой связи МТС, А1, Life.

Источник: составлено автором по [12–16].

Таблица 4 – Рейтинг г. Минска и областей Республики Беларусь по уровню цифровизации

Показатель	Регион						
	г. Минск	Брестская область	Витебская область	Гомельская область	Минская область	Гродненская область	Могилевская область
1. Наличие цифровой инфраструктуры:							
Покрытие оптоволоконными линиями	7	6	1	5	2	3	4
Доля домохозяйств, подключенных к интернету	7	2	4	6	1	5	3
Процент организаций, имеющих широкополосный доступ в интернет	1	3	6	7	2	4	5
Процент организаций, имеющих беспроводной доступ в интернет	7	4	2	1	6	5	3
Покрытие мобильной связью операторами МТС, А1, Life (зона уверенного приема)	7	5,5	1,5	5,5	4	1,5	3
Удовлетворенность жителей качеством сотовой связи	1	2	3	7	5,5	4	5,5
Удовлетворенность жителей качеством интернета	1	3	2	4	5	7	6
Количество операторов цифрового телевидения	7	6	3,5	1	1,5	1,5	3,5
2. Уровень развития технологических компаний, разрабатывающих программное обеспечение:							
Количество организаций сектора ИКТ	7	4	2	5	6	3	1
Списочная численность специалистов ИКТ в организациях	7	3	2	6	5	4	1
3. Уровень цифровой грамотности населения и готовность организаций к использованию цифровых технологий:							
Процент пользователей интернета из числа жителей	3	5	7	6	4	2	1
Процент списочного состава работников организаций, использующих персональные компьютеры	1	4	6	5	7	3	2
Процент организаций, осуществляющих электронные продажи (закупки) товаров (работ, услуг)	7	6	2	1	5	3	4
Число организаций, имеющих собственный веб-сайт	7	5	2	4	6	3	1
4. Уровень инвестиций в развитие цифровой экономики и инфраструктуры со стороны государства и частных компаний							
Размер инвестиций в основной капитал организаций сектора ИКТ	7	4	5	2	6	1	3
Размер иностранных инвестиций, поступивших в организации сектора ИКТ	7	5	2	4	6	2	2
Наличие бизнес-инкубаторов, научно-технологических парков, поддерживающих стартапы в регионе	7	2,5	2,5	2,5	6	2,5	5
Итого баллов	91	70	53,5	72	78	54,5	53
Рейтинг	1	4	6	3	2	5	7

Источник: составлено автором по таблице 3.

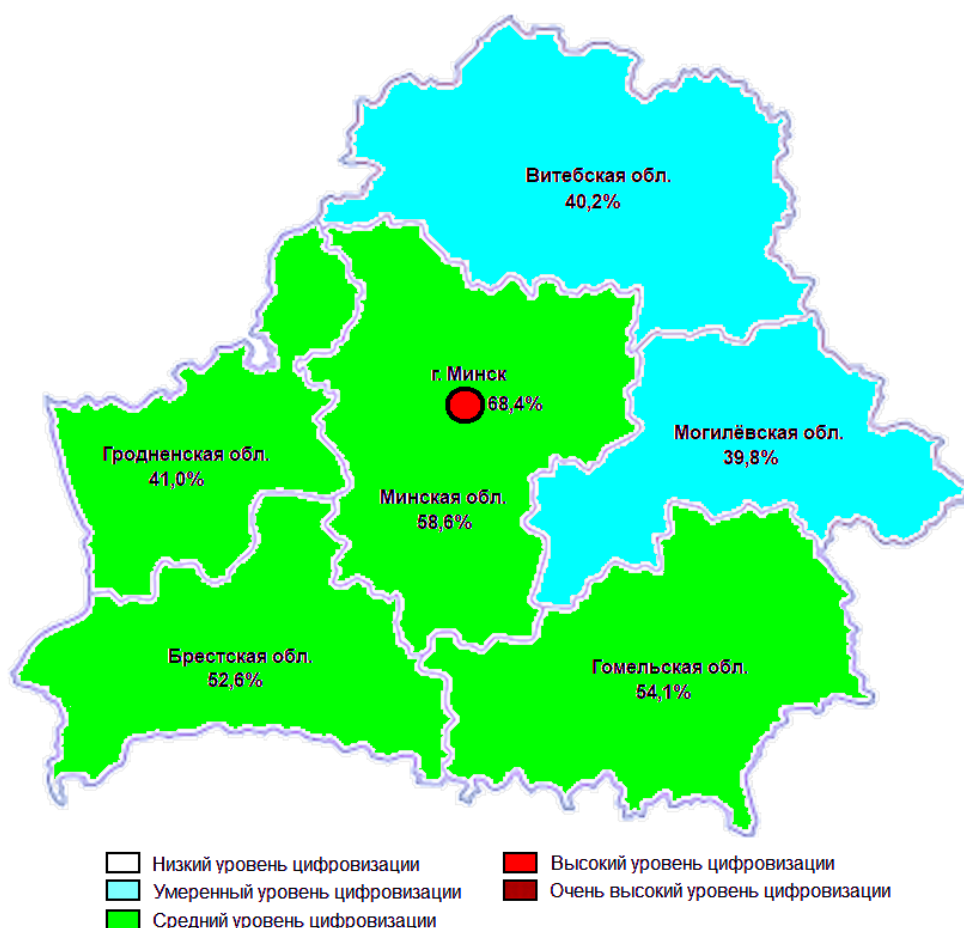


Рисунок 1 – Карта уровня цифровизации г. Минска и регионов Республики Беларусь

Источник: составлено автором.

влечению инвестиций в страну;

- реализуется программа по развитию электронного правительства, которая включает в себя создание электронных государственных услуг и усовершенствование системы государственного управления;

- проводятся мероприятия по поддержке инноваций, такие как создание инкубаторов и акселераторов стартапов, финансирование исследований и разработок, а также создание новых центров инноваций и технопарков;

- развивается ИТ-образование, в том числе созданы специализированные учебные заведения и центры подготовки кадров в области ИТ, что помогает улучшить квалификацию кадров и разви-

вать ИТ-индустрию в стране;

- проводятся мероприятия по улучшению доступности интернета, в том числе создание бесплатных зон доступа к Wi-Fi и развитие мобильной связи.

Разработанная методика определения рейтинга и уровня цифровизации регионов Республики Беларусь, основывающаяся на статистических данных, позволила выявить, что:

- к региону с высоким уровнем цифровизации относится г. Минск, его уровень цифровизации составил 68,4 %;

- регионами со средним уровнем цифровизации стали – Минская, Гомельская, Брестская и Гродненская область, уровень цифровизации

которых 58,6 %, 54,1 %, 52,6 % и 41,0 % соответственно;

– умеренный уровень цифровизации выявлен у Витебской (40,2 %) и Могилевской области (39,8 %);

– разница в цифровизации между регионом с самым высоким (г. Минск) и низким уровнем (Могилевская область) составила 28,6 п.п.

Проведенный анализ и разработанная методика определения рейтинга и уровня цифровизации регионов Республики Беларусь, основывающаяся на статистических данных, может быть использована научными работниками, занимающимися исследованиями цифровизации регионов и Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кондратьева, М., Комахина, А. (2022), Цифровизация: исследование основных терминов, *Экономика и управление: научно-практический журнал*, 2022, № 3(165), С. 134–139.
2. Информация о результатах реализации Государственной программы «Цифровое развитие Беларуси на 2021–2025 годы» в 2021 году (2022), доступно по адресу: <https://mpt.gov.by/informaciya-o-rezultatah-realizacii-gosudarstvennoy-programmy-cifrovoe-razvitie-belarusi-na-2021> (дата обращения: 5 мая 2023).
3. Наглядно о цифровой экономике (2021), доступно по адресу: https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2021/digital_econom-2021-1.pdf (дата обращения: 30 апреля 2023).
4. Определены показатели уровня цифрового развития отраслей экономики и административно-территориальных единиц (2023), доступно по адресу: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2023/april/74034/> (дата обращения: 5 июня 2023).
5. *Speedtest Global Index* (2023), available at: <https://www.speedtest.net/global-index> (accessed: 19 April 2023).
6. *Digital Quality of Life Index* (2022), available at: <https://www.informationqualitysolutions.com/dql-index/> (accessed: 19 April 2023).

REFERENCES

1. Kondratieva, M., Komakhina, A. (2022), Digitalization: a study of basic terms [Cifrovizaciya: issledovanie osnovnyh terminov], *Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskij zhurnal – Economics and Management: Scientific and Practical Journal*, 2022, № 3(165), pp. 134–139.
2. Informaciya o rezul'tatah realizacii Gosudarstvennoj programmy "Cifrovoe razvitie Belarusi na 2021–2025 gody" v 2021 godu [Information on the results of the implementation of the State Program "Digital Development of Belarus for 2021–2025" in 2021], (2022), available at: <https://mpt.gov.by/informaciya-o-rezultatah-realizacii-gosudarstvennoy-programmy-cifrovoe-razvitie-belarusi-na-2021> (accessed 5 May 2023).
3. Naglyadno o cifrovoj ekonomike [Visually about the digital economy], (2021), available at: https://www.belstat.gov.by/upload-belstat/upload-belstat-pdf/oficial_statistika/2021/digital_econom-2021-1.pdf (accessed 30 April 2023).
4. Opredeleny pokazateli urovnya cifrovogo razvitiya otraslej ekonomiki i administrativno-territorial'nyh edinic [The indicators of the level of digital development of economic sectors and administrative-territorial units are determined], (2023), available at: <https://pravo.by/novosti/novosti-pravo-by/2023/april/74034/> (accessed 5 June 2023).

7. *UN E-Government Survey* (2022), available at: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022> (accessed: 19 April 2023).
8. *Global Information Technology Report* (2022), available at: <https://www.weforum.org/reports/the-global-information-technology-report-2022> (accessed: 19 April 2023).
9. *Global Innovation Index* (2021), available at: https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2021/ (accessed: 19 April 2023).
10. *Global Cybersecurity Index* (2021), available at: <https://www.itu.int/> (accessed: 19 April 2023).
11. Головенчик, Г. Г. (2022), Цифровая экономика в Республике Беларусь: современные тенденции, вызовы и перспективы, *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*, 2022, № 3, Т. 30, С. 414–428.
12. *Информационное общество в Республике Беларусь: статистический сборник* (2021), доступно по адресу: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/719/7199f71a6c5b80265d51141c9bbeaf39.pdf> (дата обращения: 15 апреля 2023).
13. Белтелеком. *Карта проникновения ШПД* (2023), доступно по адресу: <https://beltelecom.by/leaflettest.html> (дата обращения: 5 июня 2023).
14. *Зона покрытия сети МТС* (2023), доступно по адресу: <https://www.b-info.by/content/mts/> (дата обращения: 25 июня 2023).
15. *Зона покрытия сети А1* (2023), доступно по адресу: <https://www.b-info.by/content/213/> (дата обращения: 5 июня 2023).
16. *Зона покрытия сети Life* (2023), доступно по адресу: <https://www.b-info.by/content/life/> (дата обращения: 5 июня 2023).
5. *Speedtest Global Index* (2023), available at: <https://www.speedtest.net/global-index> (accessed: 19 April 2023).
6. *Digital Quality of Life Index* (2022), available at: <https://www.informationqualitysolutions.com/dql-index/> (accessed: 19 April 2023).
7. *UN E-Government Survey* (2022), available at: <https://publicadministration.un.org/egovkb/en-us/Reports/UN-E-Government-Survey-2022> (accessed: 19 April 2023).
8. *Global Information Technology Report* (2022), available at: <https://www.weforum.org/reports/the-global-information-technology-report-2022> (accessed: 19 April 2023).
9. *Global Innovation Index* (2021), available at: https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2021/ (accessed: 19 April 2023).
10. *Global Cybersecurity Index* (2021), available at: <https://www.itu.int/> (accessed: 19 April 2023).
11. Golovenchik, G.G. (2022), Digital economy in the Republic of Belarus: current trends, challenges and prospects [Cifrovaya ekonomika v Respublike Belarus': sovremennye tendencii, vyzovy i perspektivy], *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekonomika – Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Economics*, 2022, № 3, Vol. 30, pp. 414–428.
12. *Informacionnoe obshchestvo v Respublike Belarus': statisticheskij sbornik* [Information Society in the Republic of Belarus: statistical collection], (2021), available at: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/719/7199f71a6c5b80265d51141c9bbeaf39.pdf> (accessed 15 April 2023).
13. *Karta proniknoveniya SHPD* [Beltelecom. Broadband penetration MAP], (2023), available at: <https://beltelecom.by/leaflettest.html> (accessed 5 June 2023).

14. *Zona pokrytiya seti MTS* [MTS network coverage area], (2023), available at: <https://www.b-info.by/content/mts/> (accessed 25 June 2023).
15. *Zona pokrytiya seti A1* [A1 network coverage area], (2023), available at: <https://www.b-info.by/content/213/> (accessed 25 June 2023).
16. *Zona pokrytiya seti Life* [Life network coverage area], (2023), available at: <https://www.b-info.by/content/life/> (accessed 25 June 2023).

Статья поступила в редакцию 30.06.2023 г.

ИНДЕКС РАЗВИТИЯ ИКТ В ОЦЕНКЕ УРОВНЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ

THE ICT DEVELOPMENT INDEX IN ASSESSING THE LEVEL OF DIGITALIZATION IN AN ORGANIZATION

УДК 338.4

Т.В. Касаева*, А.А. Полушина

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-95-108>

Т. Kasayeva*, A. Polushina

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЦИФРОВОЕ РАЗВИТИЕ, ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (ИКТ), ИНДЕКС РАЗВИТИЯ ИКТ, ИНФРАСТРУКТУРА ИКТ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИКТ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССАХ, НАВЫКИ В ОБЛАСТИ ИКТ, БЕЗОПАСНОСТЬ ИКТ, ИННОВАЦИИ В ОБЛАСТИ ИКТ

В современных условиях конкурентоспособность организации как на внутреннем, так и на внешнем рынке во многом зависит от уровня цифровизации всех ее бизнес-процессов. Это вызывает необходимость оценки степени развития информационно-коммуникационных технологий в организации, сопоставления ее с конкурентами, со значениями, сложившимися в определенном виде экономической деятельности, и, наконец, с уровнем достигнутым национальной экономикой в целом. В исследовании сделан вывод о необходимости внедрения методики оценки уровня развития ИКТ в организации, которая позволила бы получать объективные комплексные данные о процессах цифровизации, происходящих в отдельных организациях, но в то же время давала бы возможность агрегирования результатов на отраслевом, региональном и общенациональном уровне.

Целью данной работы является разработка методики оценки уровня цифровизации в организациях Республики Беларусь путем адаптации методики расчета международного индекса развития информационно-коммуникационных технологий (IDI). В развитие указанной методики и трансформации ее на уровень организации в качестве отдельных субиндексов предложены: ИКТ

ABSTRACT

DIGITAL DEVELOPMENT, INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES (ICT), ICT DEVELOPMENT INDEX, ICT INFRASTRUCTURE, THE USE OF ICT IN BUSINESS PROCESSES, ICT SKILLS, ICT SECURITY, ICT INNOVATION

In modern conditions, the competitiveness of an organization both in the domestic and foreign markets largely depends on the level of digitalization of all its business processes. This makes it necessary to assess the degree of development of information and communication technologies in an organization, compare it with competitors, with the values that have developed in a certain type of economic activity, and finally with the level achieved by the national economy as a whole. The study concludes that it is necessary to introduce a methodology for assessing the level of ICT development in an organization, which would allow obtaining objective comprehensive data on the digitalization processes taking place in individual organizations, but at the same time would make it possible to aggregate results at the sectoral, regional and national level.

The purpose of this work is to develop a methodology for assessing the level of digitalization in organizations of the Republic of Belarus by adapting the methodology for calculating the International Information and Communication Technology Development Index (IDI). In the development of this methodology and its transformation to the level of the organization as separate sub-indexes, the following are proposed: ICT in business processes, ICT infrastructure, ICT skills, ICT security, ICT innovations.

* E-mail: KasaevaTV@mail.ru (T. Kasayeva)

в бизнес-процессах, инфраструктура ИКТ, навыки в области ИКТ, безопасность ИКТ, инновации в области ИКТ. Предложено авторское мнение относительно набора показателей, формирующих обозначенные субиндексы.

The author's opinion on the set of indicators forming the designated subindexes is proposed.

Обоснование актуальности темы в контексте цифровой трансформации экономики Беларуси

Термин «цифровая экономика» (Digital Economy) появился в 1995 году благодаря работе двух ученых: Дона Тапскотта из университета Торонто и Николаса Негропonte из Массачусетского технологического института [1, 2]. Он быстро стал широко используемым и заменил такие понятия, как «новая экономика», «интернет-экономика», «сетевая экономика», придав более конкретное значение данному термину.

В современной трактовке «цифровая экономика — хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде, обработка больших объемов и использование результатов анализа которых по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют повысить эффективность различных видов производства, технологий, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг» [3].

Цифровая экономика оказывает существенное влияние на традиционные бизнес-процессы, что зарубежные исследователи называют «digitization of economics». В русском языке используется либо адаптированное «диджитализация», либо несколько более узкий термин «информатизация». В последнее время также распространение получило словосочетание «цифровая трансформация». Применительно к сектору промышленности изменения технологий и бизнес-процессов под влиянием цифровой экономики назвали четвертой промышленной революцией (Industry 4.0) [4].

С внедрением цифровой трансформации происходит не только изменение системы организации производства, наблюдается также позитивная динамика показателей эффективности деятельности организаций, таких как производительность труда, себестоимость продукции, экономика ресурсов и т.д. Многие авторы указывают

и на тот факт, что за счет увеличения стоимости высокотехнологичной цифровой и интеллектуальной составляющей изменяется структура добавленной стоимости.

Например, особый интерес представляет динамика производительности труда как основного индикатора развития общественного производства. В данном исследовании для акцентирования внимания на важности цифровизации было проведено сравнение уровней производительности труда двух секторов белорусской экономики: промышленности и сектора ИКТ. Оценка уровня производительности труда производилась по показателям объема произведенной продукции в расчете на одного работника и добавленной стоимости в расчете на одного работника. Особый интерес представляет сравнение производительности труда, рассчитанной по валовой добавленной стоимости, так как очевидно, что организации сектора ИКТ более подвержены влиянию цифровой трансформации и обладают большей способностью к созданию добавленной стоимости. На рисунке 1 приведены результаты обработки официальных данных Национального статистического комитета Республики Беларусь по стандартным программам для получения математического описания динамики исследуемых показателей.

В данном случае наблюдается очевидная разница как между непосредственно показателями производительности труда (в секторе ИКТ в 2 раза более высокий уровень, чем в промышленности), так и в значениях среднегодовых темпов прироста. Добавленная стоимость, созданная одним работником сектора ИКТ, растет более чем на 50 % быстрее по сравнению с аналогичным показателем индустриального сектора. И это реально отражает положение дел в национальной экономике, так как сектор ИКТ вносит все более значительный вклад в валовой внутренний продукт страны.

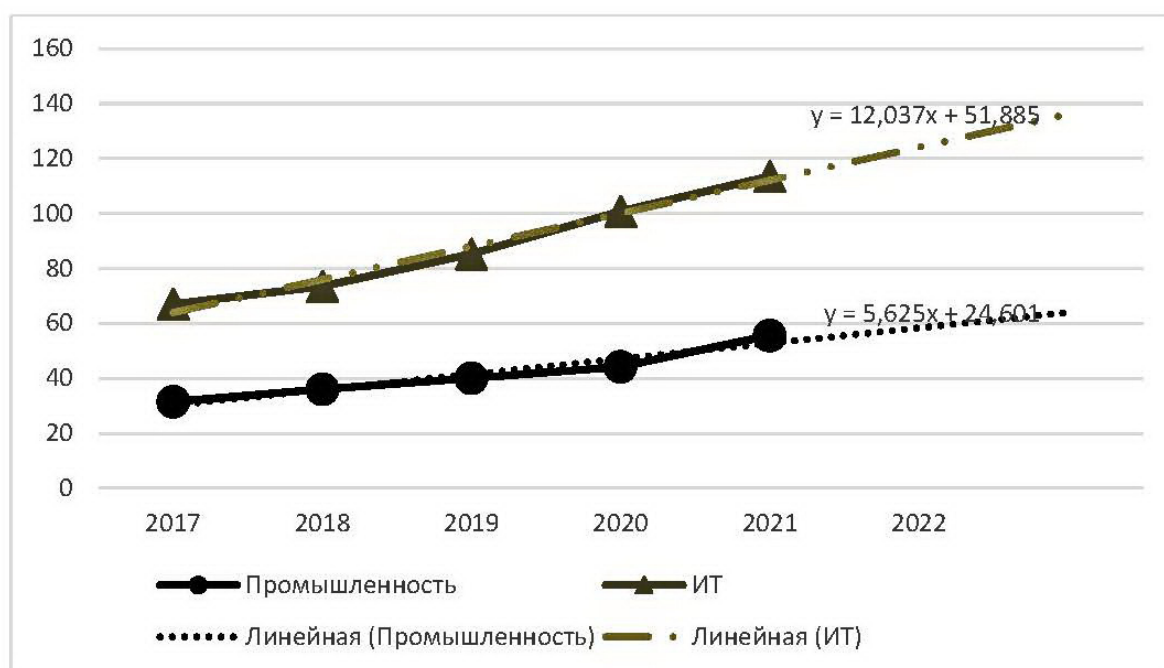


Рисунок 1 – Производительность труда по ВДС в промышленном секторе и секторе ИКТ в Республике Беларусь (2017–2021)

Источник: составлено авторами на основе [5, 6].

Исследователи отмечают, что в промышленности цифровая трансформация означает переход от традиционной ИТ-службы, ориентированной на решение отдельных задач по управлению бизнесом и производством, к внедрению открытых систем взаимодействия со всеми заинтересованными лицами, включая органы государственного управления, и созданию необходимых условий для формирования новых бизнес-моделей в рамках цифровой экосистемы [7, с. 182]. Эффективное цифровое развитие реального сектора экономики заключено в тесном взаимодействии науки, образования и производства, основу которого составляет человеческий капитал. Оно достигается за счет подготовки специалистов, адаптированных и обладающих соответствующими компетенциями в области цифровой экономики.

На сегодняшний день предприятия в мире пересматривают свою позицию по отношению к цифровой трансформации. Так, более 46 % малых предприятий внедряют инструменты

бизнес-аналитики и облачные технологии с целью улучшения своего делового профиля. Более того, анализ глобальных расходов на цифровую трансформацию в бизнесе свидетельствует о тенденции их роста (рисунок 2).

Международные организации и правительства отдельных стран в последние годы всё больше осознают важность идей цифровой экономики. Разрабатываются и внедряются национальные цифровые стратегии, усилия по цифровизации координируются на мировом уровне. Также осуществляются встречи и саммиты, где обсуждаются общие цели и подходы к регулированию цифровой экономики. Примерами таких событий являются принятие лидерами G20 документа «Программа по развитию и сотрудничеству в сфере цифровой экономики» в 2015 году, встреча министров ОЭСР в 2016 году, на которой были определены общие цели в области цифровой экономики, и обсуждение единых подходов к регулированию цифровой экономики в Гамбурге в 2017 году.

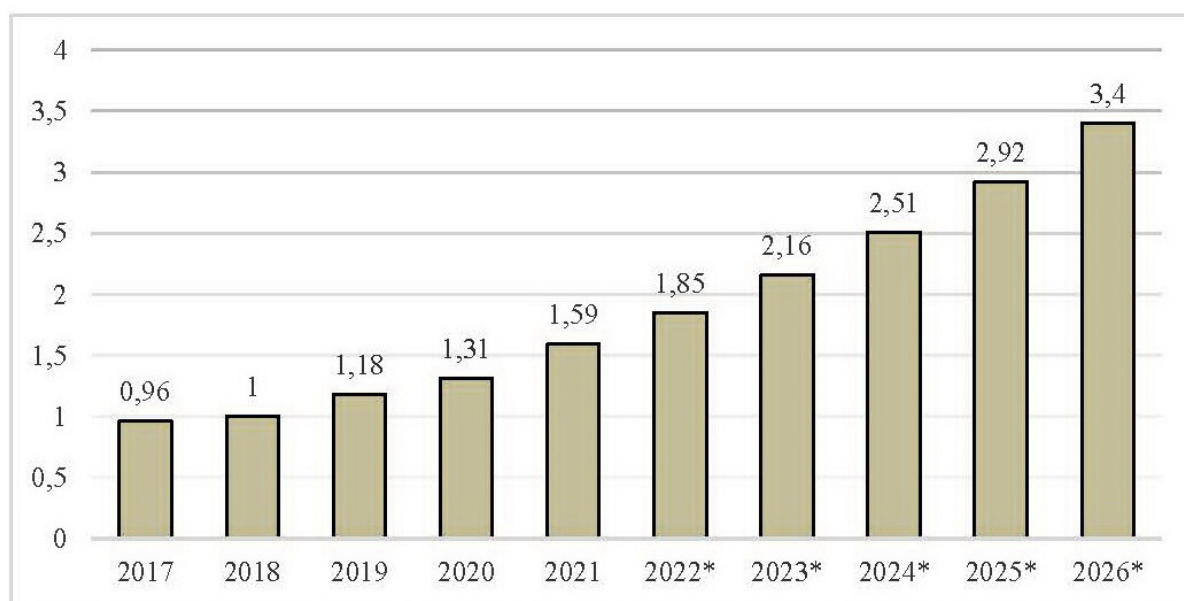


Рисунок 2 – Динамика мировых расходов на технологии и услуги цифровой трансформации в 2017–2021 гг. и прогноз до 2026 г., трлн долл. США

Источник: [8].

На современном этапе экономика Республики Беларусь характеризуется внедрением комплекса цифровых технологий в различных секторах и отраслях народного хозяйства. Основными предпосылками для этого стало принятие нормативно-правовых актов и программ, которые определили направление трансформации. Основными документами можно назвать принятый Декрет Президента Республики Беларусь от 21.12.2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики» и ряд других нормативно-правовых актов, направленных на его реализацию, а также реализуемую с 2021 по 2025 годы программу «Цифровое развитие Республики Беларусь», основные направления которой представлены ниже (рисунок 3).

Одним из приоритетных направлений данной программы предполагается развитие инструментов цифровой экономики в различных отраслях национальной экономики, предусматривающих применение передовых производственных технологий в производстве и процессах ведения внешнеэкономической деятельности, формирование необходимых условий для сохранения и

повышения конкурентоспособности белорусских предприятий на мировом рынке [9].

Таким образом, в современных условиях оценка уровня цифровизации является важной как для понимания, насколько конкурентоспособной является та или иная организация на внутреннем и внешнем рынках, так и для разработки стратегии ее развития. Поэтому в интересы каждого субъекта бизнеса входит не только непосредственно внедрение цифровых технологий, но и возможность оценить степень цифровизации, сопоставить ее с конкурентами и отраслевыми значениями. Это является доказательством обоснования необходимости разработки и внедрения такой методики, которая позволяла бы получать объективные данные о цифровой трансформации и давать комплексную оценку уровня развития ИКТ в организациях Республики Беларусь.

Это утверждение основано и на том факте, что в программе цифрового развития уделено внимание цифровизации отдельных отраслей экономики, а также региональному цифровому развитию, но степень цифровизации может быть

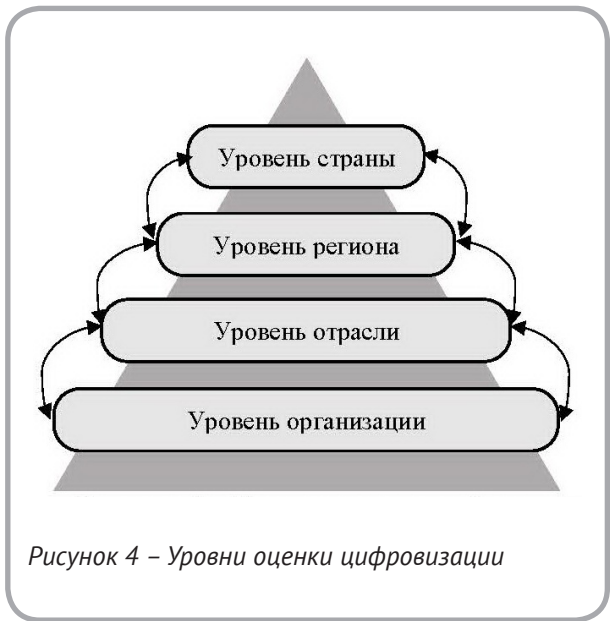


Источник: составлено авторами на основе [9].

рассмотрена также на уровне отдельного экономического субъекта. По мнению авторов, необходимо выделять следующие уровни оценки цифровизации (рисунок 4).

При этом следует отметить, что оценка уровня локальной цифровизации наименее разра-

ботана в Республике Беларусь, хотя зарубежные исследователи предлагают множество методик, отличающихся набором показателей и алгоритмами формирования оценки. Большинство этих методик основаны на анализе статистических данных, характеризующих уровень информатизации, автоматизации и цифровой зрелости объектов исследования. Однако статистика показателей развития информационно-коммуникационных технологий не всегда точна, и многие ученые соглашаются, что основная проблема – сбор правдоподобных данных [10]. С другой стороны, если рассматривать процесс цифровизации как массовое социально-экономическое явление, то для его изучения приемлемы все этапы статистического исследования: статистическое наблюдение или сбор массовых данных, сводка и группировка этих данных (по видам экономической деятельности, по отраслям, по регионам, по стране), обобщение и анализ. Из этого следует, что должна обеспечиваться преемственность уровней оценки цифровизации, в том числе по применяемым подходам и показателям. Объектом наблюдения в данном явлении выступают отдельные институциональные единицы национальной экономики – организации.



Источник: составлено авторами.

Целью данной работы является разработка методики оценки уровня цифровизации в организациях Республики Беларусь путем адаптации метода расчета международного индекса развития информационно-коммуникационных технологий (IDI).

Для этого были поставлены следующие задачи:

- обосновать возможность адаптации индекса развития ИКТ для его применения в отдельных организациях;
- разработать методику расчета индекса развития ИКТ для организаций Республики Беларусь.

Индекс развития ИКТ и возможность применения в организации

Индекс развития информационно-коммуникационных технологий (IDI) — комбинированный показатель, характеризующий достижения стран мира с точки зрения развития информационно-коммуникационных технологий. Публиковался организацией International Telecommunication Union (Международный союз электросвязи) с 2009 по 2017 годы, в 2018 году публикация была прекращена в связи с проблемами доступности и качества данных.

В октябре 2022 года Полномочная конференция МСЭ 2022 в Бухаресте приняла пересмотренный текст Резолюции 131 [11]. Этот текст определяет, среди прочего, основные особенности процесса разработки и принятия новой методологии IDI. В соответствии со срочностью, налагаемой Резолюцией, цель состоит в том, чтобы принять пересмотренный IDI в 2023 году.

Расчет индекса производится на основе согласованных на международном уровне показателей ИКТ. Это делает его ценным инструментом для сравнительного анализа наиболее важных показателей для измерения информационного общества. IDI – это стандартный инструмент, который правительства, агентства по развитию, исследователи и другие лица могут использовать для измерения цифрового разрыва и сравнения эффективности ИКТ внутри стран и между ними. Индекс развития ИКТ основан на 11 показателях ИКТ, сгруппированных в три блока: доступ, использование и навыки (таблица 1).

Следовательно, индекс развития ИКТ – это составной индекс, который решает задачу меж-

странового сравнения уровня развития информационно-коммуникационных технологий.

Решая задачу, поставленную в данном исследовании, возникает необходимость адаптации концепции индекса развития ИКТ для оценки уровня цифровизации отдельной организации. В свою очередь, такая оценка создаст информационную базу для повышения эффективности процессов цифровизации отдельных экономических субъектов.

Для того чтобы реализовать эту возможность необходимы следующие шаги:

Шаг 1. Определение показателей развития ИКТ и их весов:

- определение ключевых показателей, которые отражают различные аспекты развития ИКТ в организации;
- присвоение весов показателям на основе их относительной важности или релевантности. Веса отражают приоритеты организации и могут быть присвоены с помощью экспертных заключений, опросов или других методов.

Шаг 2. Сбор и сопоставление данных:

- сбор данных по определенным показателям в организации может включать проведение опросов, интервью или анкетирование для получения как количественных, так и качественных данных, а также работу со статистической отчетностью;
- после того, как данные получены, их необходимо нормализовать, чтобы убедиться, что показатели находятся в сопоставимом масштабе. Нормализация помогает устранить различия в единицах измерения, масштабах или диапазонах данных, упрощая сравнение и объединение их в индекс.

Шаг 3. Вычисление и интерпретация:

- алгоритм вычисления индекса может быть простой или включать сложные математические вычисления, в зависимости от выбранных методов нормализации и взвешивания.
- по аналогии с IDI для стран более высокое значение индекса указывает на более высокий уровень развития ИКТ, в то время как более низкое значение индекса указывает на области для улучшения. Необходимо производить мониторинг значения индекса с течением времени, чтобы отслеживать прогресс и выявлять тенденции, сравнивать его с отраслевыми стандартами или

Таблица 1 – Методика расчета индекса развития ИКТ (IDI)

Субиндексы/индикаторы	Вес индикатора, %	Вес субиндекса, %
Доступ к ИКТ (ICT Access)		
1. Число контрактов на фиксированную телефонную связь на 100 человек населения	20	40
2. Число контрактов на подвижную телефонную связь на 100 человек населения	20	
3. Пропускная способность международных интернет-каналов (<i>бит/сек</i>) на пользователя интернета	20	
4. Доля домохозяйств, имеющих компьютер	20	
5. Доля домохозяйств, имеющих доступ в интернет	20	
Использование ИКТ (ICT Use))		
6. Процент лиц, пользующихся интернетом	33	40
7. Число контрактов на фиксированную широкополосную связь на 100 человек населения	33	
8. Число контрактов на подвижную широкополосную связь на 100 человек населения	33	
Навыки в сфере ИКТ (ICT Skills)		
9. Средняя продолжительность обучения, лет	33	20
10. Охват населения средним образованием	33	
11. Охват населения высшим образованием	33	

Источник: [12].

лучшими практиками для относительной оценки.

Шаг 4. Проведение корректирующих мер:

– может включать в себя инвестиции в инфраструктуру ИКТ, предоставление программ обучения и развития для сотрудников с целью улучшения навыков в области ИКТ, содействие использованию ИКТ в бизнес-процессах и укрепление культуры инноваций и внедрения ИКТ в организации.

В материалах данной статьи предлагаются результаты проведенного авторами исследования в большей мере касающегося начального этапа: разработки структуры индекса развития ИКТ для уровня организации.

Разработка структуры и алгоритма расчета индекса развития ИКТ для организаций

Сохраняя концепцию международного индекса развития ИКТ, прежде всего, необходимо выделить формирующие его субиндексы.

В данном исследовании предлагается следу-

ющая структура субиндексов для расчета индекса развития ИКТ в организации (всего 5 субиндексов):

1. ИКТ в бизнес-процессах (*ИКТ_{БП}*) – использование ИКТ в бизнес-процессах и операциях, включая интеграцию ИКТ в основные бизнес-функции.

Степень, в которой технологии используются в бизнес-процессах и инициативах по цифровому преобразованию, является важным фактором при оценке развития ИКТ. Этот субиндекс оценивает способность организации оптимизировать ИКТ для повышения производительности, эффективности и рентабельности деятельности.

2. Инфраструктура ИКТ (*ИКТ_{ИС}*) – доступность, надежность и пропускная способность оборудования, аппаратного и программного обеспечения, сетевых подключений.

Инфраструктура ИКТ является основой усилий любой организации по цифровому преоб-

разованию. Без нее сложно использовать потенциал ИКТ для достижения бизнес-целей. К инфраструктуре ИКТ относится оборудование, программное обеспечение и сетевое подключение, которые организация использует для поддержки операций в области ИКТ.

3. Навыки в области ИКТ ($ИКТ_H$) – уровень ИКТ-грамотности и опыта сотрудников, их способность эффективно использовать инструменты и технологии.

Уровень навыков сотрудников в области ИКТ является важным фактором в развитии ИКТ в организации. Он позволяет эффективно использовать инструменты ИКТ, уменьшая потребность во внешней поддержке и максимизируя отдачу организации от инвестиций в ИКТ.

4. Безопасность ИКТ ($ИКТ_B$) – меры и практика организации, связанные с информационной безопасностью, включая защиту данных, конфиденциальность и кибербезопасность.

Оценка цифровой безопасности позволяет выявить и анализировать уязвимости и потенциальные угрозы, связанные с информационными системами и данными организации, что помогает принять меры по предотвращению, обнаружению и реагированию на возможные атаки, включая киберпреступность, хакерские атаки, вирусы и другие виды угроз.

5. ИКТ-инновации ($ИКТ_{ин}$) – способность организации использовать ИКТ для инноваций и получения конкурентных преимуществ, внедрять новейшие технологии и инициативы по цифровому преобразованию.

Способность использовать ИКТ для инноваций и получения конкурентных преимуществ является еще одним решающим фактором при оценке развития ИКТ. Организации, которые могут использовать инструменты и платформы ИКТ для внедрения инноваций и оставаться впереди конкурентов, с большей вероятностью добьются успеха в современной быстро меняющейся цифровой среде.

Адаптируя международный индекс развития ИКТ на уровень организации, по мнению авторов, необходимо провести дифференциацию значимости отдельных субиндексов (что согласуется с концепцией IDI). Изучение литературных источников, проведение опросов специалистов ИТ-компаний и специалистов промышленных

организаций, учет авторского мнения позволяют присвоить субиндексам следующие веса, отражающие их значимость для определения уровня цифровизации организации:

1. ИКТ в бизнес-процессах – 40 %.
2. Инфраструктура ИКТ – 25 %.
3. Навыки в области ИКТ – 10 %.
4. Безопасность ИКТ – 15 %.
5. Инновации в области ИКТ – 10 %.

Учитывая весовости отдельных субиндексов, индекс развития ИКТ в организации может быть рассчитан по следующей формуле:

$$ИКТ_{орг} = ИКТ_{БП} \times 0,40 + ИКТ_{ИС} \times 0,25 + \\ + ИКТ_H \times 0,10 + ИКТ_B \times 0,15 + ИКТ_{ин} \times 0,10$$

Используя данную формулу, после нормализации данных по каждому субиндексу организация может рассчитать свой индекс развития ИКТ, определить области для его улучшения и разработать стратегию повышения своих возможностей в области ИКТ и конкурентоспособности.

В ходе исследования разработан перечень показателей, которые входят в каждый субиндекс.

1. Использование ИКТ в бизнес-процессах

Субиндекс включает оценку степени внедрения информационных технологий и программного обеспечения в основные бизнес-процессы организации:

- управление персоналом, производство/выполнение работ/оказание услуг;
- маркетинг;
- логистика;
- финансы и бухгалтерия;
- общехозяйственная деятельность.

Бизнес-процессы можно конкретизировать подпроцессами в рамках специфики работы организации.

2. Инфраструктура ИКТ

- сетевое подключение: показатель измеряет доступность, надежность и скорость сетевого подключения организации, включая проводные и беспроводные соединения. Его можно оценить путем измерения времени безотказной работы сети, задержки и пропускной способности;
- доступность оборудования: оценивает до-

ступность и адекватность аппаратных ресурсов, включая серверы, компьютеры, ноутбуки, планшеты, смартфоны и другие устройства, используемые для операций с ИКТ. Измеряется путем инвентаризации оборудования, расчета коэффициента использования и цикла замены;

- доступность программного обеспечения: измеряет адекватность программных ресурсов, включая операционные системы, программное обеспечение для повышения производительности, специализированное программное обеспечение и другие приложения, используемые для операций с ИКТ. Выявляется обеспеченность программным обеспечением, а также степень использования лицензированного ПО;

- оборудование центра обработки данных: данный показатель оценивает физические помещения и инфраструктуру, используемые для работы центра обработки данных, включая электроснабжение, охлаждение, резервное питание и меры физической безопасности;

- облачные сервисы: измеряется использование организацией облачных сервисов, таких как Инфраструктура как услуга (IaaS), Платформа как услуга (PaaS) и Программное обеспечение как услуга (SaaS) и оценивает степень внедрения облачных технологий, типы используемых облачных сервисов, методы хранения данных и резервного копирования.

3. Навыки в области ИКТ

- обучение и сертификация сотрудников в области ИКТ: количество сотрудников, которые завершили программы обучения ИКТ, получили признанные в отрасли сертификаты и участвовали в семинарах по повышению квалификации;

- оценка навыков в области ИКТ: измеряет оценку организацией навыков сотрудников в области ИКТ посредством самооценки или формальных оценок, включая уровень владения конкретными инструментами ИКТ, технологиями или языками программирования;

- запросы в службу поддержки ИКТ: определение уровня грамотности и опыта сотрудников в области ИКТ путем отслеживания объема и характера запросов в службу поддержки, связанных с вопросами ИКТ, типа сообщаемых проблем и времени их разрешения;

- отзывы и опросы сотрудников в области ИКТ: отзывы сотрудников об их уровне комфор-

та, уверенности и эффективности в использовании инструментов и технологий ИКТ на своих рабочих ролях;

- участие в проектах в области ИКТ: количество сотрудников, участвующих в проектах, связанных с ИКТ, таких как разработка программного обеспечения, анализ данных или проекты автоматизации процессов.

4. Безопасность ИКТ

- меры кибербезопасности: использование в организации мер кибербезопасности, включая брандмауэры, антивирусное программное обеспечение, системы обнаружения/предотвращения вторжений и другие средства контроля безопасности;

- соответствие стандартам безопасности: соответствие организации отраслевым стандартам и нормативным требованиям, связанным с информационной безопасностью. Показатель может быть измерен путем проведения регулярных аудитов соответствия требованиям, рассмотрения отчетов о соответствии требованиям и отслеживания выполнения корректирующих действий;

- осведомленность сотрудников о безопасности: отслеживание завершения учебных модулей по повышению осведомленности о безопасности, проведения опросов для оценки понимания сотрудниками политик и процедур безопасности и анализа эффективности кампаний по повышению осведомленности о безопасности;

- защита данных: способность организации защищать конфиденциальные данные от несанкционированного доступа или раскрытия. Показатель может быть измерен путем отслеживания инцидентов с утечкой данных, частоты попыток фишинга против сотрудников;

- время реагирования на инциденты безопасности: среднее время обнаружения (MTTD) измеряет время, необходимое организации для обнаружения инцидента безопасности, среднее время на устранение (MTTR) – время, необходимое организации для устранения инцидента безопасности;

- эффективность реагирования на инциденты безопасности: степень разрешения обнаруженных в организации угроз безопасности.

5. ИКТ-инновации

- инновационные проекты на основе ИКТ:

оценка количества и качества инновационных проектов, основанных на применении информационно-коммуникационных технологий, отражает активность организации в разработке и внедрении новых решений, которые могут привести к улучшению бизнес-процессов, повышению эффективности и созданию конкурентных преимуществ;

- количество внедренных новых технологий: показывает способность организации внедрять и использовать новые информационно-коммуникационные технологии. Чем больше новых технологий успешно внедрено, тем выше уровень развития ИКТ в организации;

- создание интеллектуальной собственности: количественная оценка интеллектуальной собственности, создаваемой организацией в области ИКТ. Это может включать патенты, авторские права, товарные знаки и другие формы правовой защиты, связанные с инновациями в ИКТ. Создание интеллектуальной собственности свидетельствует о том, что организация разрабатывает и внедряет уникальные и ценные технологические решения;

- совместные инновации: уровень сотрудничества организации с внешними партнерами в разработке и внедрении инновационных инициатив на основе ИКТ. Такое сотрудничество может включать партнерства с другими компаниями, исследовательскими институтами, университетами и другими структурами для обмена знаниями,

ресурсами и экспертизой в области ИКТ;

- рентабельность инвестиций в инновации в области ИКТ: оценка экономической эффективности инвестиций в инновации, связанные с ИКТ. Этот показатель позволяет оценить, насколько успешно организация использует свои ресурсы на разработку и внедрение новых технологий, а также какой финансовый результат она получает от этих инвестиций.

При вычислении субиндексов каждому из входящих в него показателей присваиваются равные веса, что также сохраняет концепцию IDI.

Следующий шаг применения индекса развития ИКТ на уровне организации связан со сбором и обработкой информации и, безусловно, является наиболее проблемным.

Для расчета показателей индекса развития информационно-коммуникационных технологий в организациях Республики Беларусь могут быть использованы различные источники данных, важно, чтобы они были максимально достоверными (рисунок 5).

В Республике Беларусь существует национальная статистическая система, которая собирает данные о различных аспектах развития страны, включая ИКТ. Официальные органы (Национальный статистический комитет и Министерство связи и информатизации) могут предоставлять данные о широком спектре показателей, таких как количество интернет-пользователей, покрытие широкополосного доступа, использование



Рисунок 5 – Возможные источники данных для расчета показателей индекса развития ИКТ в организации

Источник: составлено авторами.

облачных сервисов организациями, удельный вес организаций, осуществляющих электронные закупки товаров и другие.

Детализацию данных о состоянии ИКТ в организациях может обеспечить проведение анкетирования. Они могут включать опросы организаций различных отраслей и размеров с целью получить данные о наличии и использовании ИКТ, уровне компетенций сотрудников, инновационных проектах и других аспектах, которые могут быть важны для расчета индекса развития ИКТ.

Для получения более точной и актуальной информации о развитии ИКТ в организациях Министерству связи и информатизации (как уполномоченному органу в сфере цифрового развития и вопросах информатизации) и Национальному статистическому комитету может потребоваться ввести новые требования к отчетности [13]. Это подразумевает под собой запрос определенных показателей или стандартных форм отчетности (так, например, в свое время для оценки инновационной деятельности организаций была введена форма 1-нт (инновация)). Такая отчетность может содержать данные о состоянии инфраструктуры ИКТ, инвестициях в ИКТ, использовании новых технологий и других параметрах, необходимых для расчета индекса развития ИКТ.

Заключение

Таким образом, расчет индекса развития ИКТ в организациях возможен и необходим, так как он обеспечит всеобъемлющую меру уровня внедрения и использования ИКТ отдельными экономическими субъектами.

Для организаций значение индекса развития ИКТ представляет интерес при обосновании стратегических решений, при определении сильных и слабых сторон функционирования данного бизнеса, при определении областей улучшения, а также для сравнения с отраслевыми, республиканскими и международными достижениями и стандартами.

Кроме того, полученные с применением предлагаемой методики данные могут стать основой для построения различных типов рейтингов: рейтинг уровня цифровизации отраслей как на уровне отдельно взятого региона, так и на национальном уровне; рейтинг уровня цифровизации в сегментах «микро- и малый бизнес», «средний бизнес» и «крупный бизнес» как на уровне отдельно взятого региона, так и на национальном уровне и др.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Negroponte, N. (1995), *Being Digital*, New York, 243 p.
2. Дон Тапскотт, пер. с англ. И. Дубинского, под ред. С. Писарева (1999), *Электронно-цифровое общество: плюсы и минусы эпохи сетевого интеллекта*, Москва, 403 с.
3. *Эпоха цифрового развития: основы цифровой трансформации*, режим доступа: <https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/44708/1/%D0%91%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%83%D1>

REFERENCES

1. Negroponte, N. (1995), *Being Digital*, New York, 243 p.
2. Don Tapscott, translated from the English by I. Dubinsky, edited by S. Pisarev (1999), *Elektronno-tsifrovoye obshchestvo: plyusy i minusy epokhi setevogo intellekta* [Electronic Digital Society: pros and cons of the era of network intelligence], Moscow, 403 p.
3. *Epokha tsifrovogo razvitiya: osnovy tsifrovoy transformatsii* [The era of digital development:

- %81%D0%BA%D0%B0%D1%81_%D0%AD%D0%BF%D0%BE%D1%85%D0%B0.pdf (дата обращения: 04.07.2023)
4. Ковалев, М. М., Головенчик, Г. Г. (2018), *Цифровая экономика – шанс для Беларуси*, Минск, 327 с.
 5. *Информационное общество в Республике Беларусь, 2021*, режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/719/7199f71a6c5b80265d51141c9bbeaf39.pdf> (дата обращения 01.05.2022).
 6. *Промышленность Республики Беларусь, 2021*, режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bd1/bd1b74f3b6b391e21f6a197487c1a1f7.pdf> (дата обращения: 20.05.2023).
 7. Решетняк, А. В. (2020), Интернет вещей. Промышленный интернет, *Цифровая трансформация. Основные понятия и терминология : сб. статей*, С. 179–183
 8. *Spending on digital transformation technologies and services worldwide from 2017 to 2026*, режим доступа: <https://www.statista.com/statistics/870924/worldwide-digital-transformation-market-size> (дата обращения: 20.05.2023).
 9. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 2 февраля 2021 г. № 66 «О Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 годы», режим доступа: https://docviewer.yandex.by/view/585527454/?*=y06gwP6FOBI%2FF9i6Hb68197TWFN7InVybcI6InLhLWJyb3dzZXI6Ly80RFQxdVhFUFJySUybfVVGb2V3cnVOLUZHWTv2V1BWODVheUxvcMjKNHdZTGNBT2NHVnNGSW90X0lRN3ZKX2VUaUQzb3FHc2NyYXpsb0VHQkJM TG12Tm1rTHRZUDVBU3JySEZKQWwwNU5FR0loWldfc0JmTWZQM0xxZTBmLU1DWI9lZUVWN ENvV2RNV25OVVBncjYtM1E9PT9zaWduPXLZcDJ2TWRaMTBGcW85TXBINENHWGJUQ0JIQmFWaXBBOWRsMWVvX2JiaFU9liwidGl0bGUiOiJnb3MtcHJvZ3JhbW1hX3Bvc3RfMS5kb2N4liwibm9
 - the basics of digital transformation], access mode: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/44708/1/%D0%91%D0%B0%D1%87%D0%B0%D1%83%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%81_%D0%AD%D0%BF%D0%BE%D1%85%D0%B0.pdf (accessed 04.07.2023)
 4. Kovalev, M. M., Golovenchik, G. G. (2018), *Tsifrovaya ekonomika – shans dlya Belarusi* [Digital economy is a chance for Belarus], Minsk, 327 p.
 5. *Informatsionnoye obshchestvo v Respublike Belarus', 2021* [Information Society in the Republic of Belarus, 2021], access mode: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/719/7199f71a6c5b80265d51141c9bbeaf39.pdf> (accessed 01.05.2022).
 6. *Promyshlennost' Respubliki Belarus', 2021* [Industry of the Republic of Belarus], 2021, access mode: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/bd1/bd1b74f3b6b391e21f6a197487c1a1f7.pdf> (date of access: 05/20/2023).
 7. Reshetnyak, A. V. (2020), Internet of things. Industrial Internet [Internet veshchey. Promyshlennyy internet], *Digital transformation. Basic concepts and terminology: Sat. articles*, pp. 179–183.
 8. *Spending on digital transformation technologies and services worldwide from 2017 to 2026*, available at: <https://www.statista.com/statistics/870924/worldwide-digital-transformation-market-size> (accessed 20.05.2023).
 9. Postanovleniye Soveta Ministrov Respubliki Belarus' ot 2 fevralya 2021 g. № 66 "O Gosudarstvennoy programme "Tsifrovoye razvitiye Belarusi" na 2021–2025 gody" [Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus of February 2, 2021 № 66 On the State Program "Digital Development of Belarus" for 2021–2025], access mode: https://docviewer.yandex.by/view/585527454/?*=y06gwP6FOBI%2FF9i6Hb68197TWFN7InVybcI6InLhLWJyb3

pZnJhbWUiOmZhbnHNLcJ1aWQioi10DU1Mjc0NTQiLCJ0cyI6MTY4ODIxNjI1MDIyMCwieXUiOiI5NDUyMjM4MjUxNTkzMdC3NjYzIn0%3D (дата обращения: 20.05.2023).

10. Куприянова, М. В., Симикина, И. П. (2019), Методологические подходы к оценке уровня цифровизации промышленного производства, *Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «ПРАВО, ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ: АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ»*, С. 28–34.

11. Резолюция 131 (пересм. Бухарест, 2022 г.) Измерение информационно-коммуникационных технологий для построения объединяющего и открытого для всех информационного общества, Полномочная конференция Международного союза электросвязи, режим доступа: <https://www.itu.int/en/council/Documents/basic-texts-2023/RES-131-R.pdf> (дата обращения: 20.05.2023).

12. Невмержицкий, А. (2017), *Индекс развития ИКТ в странах региона. Изменение методики расчета индекса развития*, режим доступа: https://www.itu.int/en/ITU-D/RegionalPresence/CIS/Documents/Events/2017/09_Odessa/Presentations/ITU%20Workshop%2029.09%20-%20Anatoly%20Nevmerzhitsky.pdf, (дата обращения: 20.05.2023).

13. Указ № 136 от 7 апреля 2022 г. «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации», режим доступа: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-136-ot-7-aprelya-2022-g>, (дата обращения: 20.05.2023).

dzZXI6Ly80RFQxdVhFUFJySUyYbFVGb2V3cnVO LUZHWTv2V1BWODVheUxvcmlkNHdZTGNBT2NHVnNGSW90X0lRN3ZKX2VUaUQzb3FH c2NyYXpsb0VHQKJMTG12Tm1rTHRZUDVBU3JySEZKQWwwwNU5FR0loWldfc0JmTWZQM0xxZTBmLU1DWl9lZUVWNNvV2RNv25OVVBncjYtM1E9PT9zaWduPXlZcDJ2TWRaMTBGcW85TXBINENHWGJU Q0JIQmFWaXBBOWRSMWVX2JiaFU9liwidGI0bGUiOiJnb3MtcHJvZ3JhbW1hX3Bvc3RfMS5kb2N4Iiwibm9pZnJhbWUiOmZhbnHNLcJ1aWQioi10DU1Mjc0NTQiLCJ0cyI6MTY4ODI xNjI1MDIyMCwieXUiOiI5NDUyMjM4MjUxNTkzMdC3NjYzIn0%3D (accessed 20.05.2023).

10. Kupriyanova, M. V., Simikova, I. P. (2019), Methodological approaches to assessing the level of digitalization of industrial production [Metodologicheskiye podkhody k otsenke urovnya tsifrovizatsii promyshlennogo proizvodstva], *Collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation "LAW, ECONOMICS AND MANAGEMENT: TOPICAL ISSUES"*, pp. 28–34.

11. Rezolyutsiya 131 (peresm. Bukharest, 2022 g.) Izmereniye informatsionno-kommunikatsionnykh tekhnologiy dlya postroyeniya ob"yedinayushchego i otkrytogo dlya vsekh informatsionnogo obshchestva, Polnomochnaya konferentsiya Mezhdunarodnogo soyuza elektrosvyazi [Resolution 131 (Rev. Bucharest, 2022) Measuring information and communication technologies to build an inclusive and inclusive information society, Plenipotentiary Conference of the International Telecommunication Union], available at: <https://www.itu.int/en/council/Documents/basic-texts-2023/RES-131-R.pdf> (accessed 20.05.2023).

12. Nevmerzhitsky, A. (2017), *Indeks razvitiya IKT v stranakh regiona. Izmeneniye metodiki rascheta indeksa razvitiya* [ICT Development Index in the countries of the region. Change in the methodology for calculating the development index], access mode: https://www.itu.int/en/ITU-D/RegionalPresence/CIS/Documents/Events/2017/09_Odessa/Presentations/ITU%20

Workshop%2029.09%20-%20Anatoly%20
Nevmerzhitsky.pdf, (date of access: 05/20/2023).

13. Ukaz № 136 ot 7 aprelya 2022 g. "Ob organe gosudarstvennogo upravleniya v sfere tsifrovogo razvitiya i voprosakh informatizatsii" [Decree № 136 of April 7, 2022 On the public administration body in the field of digital development and informatization issues], access mode: <https://president.gov.by/ru/documents/ukaz-no-136-ot-7-aprilya-2022-g>, (date of access: 05/20/2023).

Статья поступила в редакцию 06.04.2023 г.

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК КАК ДРАЙВЕР РАЗВИТИЯ МОЛОДЕЖНОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РЕГИОНЕ

SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK AS A DRIVER OF YOUTH ENTREPRENEURSHIP DEVELOPMENT IN THE REGION

УДК 658.51:346.26

В.В. Мирончик*, Е.В. Ванкевич

Витебский государственный технологический университет

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-109-127>

V. Mironchik*, A. Vankevich

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПАРК, ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО, ИННОВАЦИИ, МОЛОДЕЖЬ

Целью статьи является разработка теоретических подходов и практических рекомендаций по организации функционирования университетских технопарков для увеличения их вклада в развитие молодежного предпринимательства на региональном уровне. Анализ теоретических подходов к организации технопарков позволил выделить их основные цели (содействие экономическому росту на основе развития инновационного предпринимательства) и задачи. На основе обобщения и систематизации позитивного зарубежного опыта создания и развития технопарков выделены четыре организационные модели технопарков (американская, европейская, японская, китайская), различия которых состоят в определении главного элемента при создании технопарка (университет, приоритетная отрасль или регион), что формирует направления его развития и меры поддержки. Доказано, что технопарки оказывают положительное влияние на развитие предпринимательства и экономического роста. На основе эмпирических данных стран ЕС-27 за 2015–2022 гг. выявлена статистически значимая, сильная, прямо пропорциональная связь между динамикой ВВП и развитием предпринимательства и стартап-движения, что подтвердило авторскую гипотезу о положительном влиянии предпринимательства на темпы роста ВВП. Анализ развития технопарков в Республике Беларусь позволил выделить две ор-

ABSTRACT

SCIENCE AND TECHNOLOGY PARK, ENTREPRENEURSHIP, INNOVATION, YOUTH

The purpose of the article is to develop theoretical approaches and practical recommendations for the organization of the functioning of university technoparks to increase their contribution to the development of youth entrepreneurship at the regional level. The analysis of theoretical approaches to the organization of technoparks allowed us to identify their main goals (promoting economic growth through the development of innovative entrepreneurship) and tasks. On the basis of generalization and systematization of positive foreign experience in the creation and development of technoparks, four organizational models of technoparks (American, European, Japanese, Chinese) are identified, the differences of which consist in determining the main element in the creation of a technopark (university, priority industry or region), which forms the directions of its development and support measures. It is proved that technoparks have a positive impact on the development of entrepreneurship and economic growth. Based on empirical data from the EU-27 countries for 2015–2022 a statistically significant, strong, directly proportional relationship between the dynamics of GDP and the development of entrepreneurship and the startup movement was revealed, which confirmed the author's hypothesis about the positive impact of entrepreneurship on GDP growth rates. The analysis of the development of technoparks in the Republic of Belarus allowed us to identify two organizational models – technoparks created by regional govern-

* E-mail: vlad.mironchik.00@mail.ru (V. Mironchik)

ганизационные модели – технопарки, созданные региональными органами управления и университетские технопарки. На основе авторского экспертного опроса молодежи установлен потенциал развития молодежного предпринимательства в регионе, определены приоритетные виды деятельности (услуги, реклама), направления поддержки и существующие барьеры. Показано, что университетские технопарки являются эффективным инструментом развития молодежного инновационного предпринимательства в регионе, но для их функционирования необходимы совместные усилия правительства, органов регионального управления и университета. В Республике Беларусь местные органы управления оказывают содействие в развитии только тех технопарков, учредителями которых являются областные органы управления. При этом университетские технопарки практически не имеют никаких дополнительных льгот. Поэтому деятельность по коммерциализации научных разработок университета осуществляется только усилиями самого университета. Предложены практические рекомендации для улучшения условий хозяйственной деятельности и содействия устойчивому финансово-экономическому состоянию университетских технопарков в Беларуси (введение дополнительных льгот и снижение тарифов на электро- и теплоэнергию, внесение изменений в распределение доходов от субаренды, принятие программы стимулирования научных работников для осуществления инновационной деятельности).

ment bodies and university technoparks. Based on the author's expert survey of young people, the potential for the development of youth entrepreneurship in the region has been determined, priority activities (services, advertising), areas of support and existing barriers have been identified. It is shown that university technoparks are an effective tool for the development of youth innovative entrepreneurship in the region, but their functioning requires joint efforts of the government, regional authorities and the university. In the Republic of Belarus, local authorities assist in the development of only those technoparks whose founders are regional government bodies. At the same time, university technoparks practically do not have any additional benefits. Therefore, the commercialization of scientific developments of the university is carried out only by the efforts of the university itself. Practical recommendations are proposed to improve the conditions of economic activity and promote the sustainable financial and economic condition of university technoparks in Belarus (introduction of additional benefits and reduction of tariffs for electricity and heat, changes in the distribution of income from sublease, adoption of a program to stimulate researchers to carry out innovative activities).

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена развитием инновационной экономики во всем мире, в том числе и в Республике Беларусь. Научно-технологические парки являются основным элементом национальной инновационной системы, поэтому их роль в формировании инновационной экономики возрастает и, с другой стороны, важным направлением обеспечения занятости современной молодежи является предпринимательство. Поэтому исследование университетских научно-технологических парков является особенно актуальным как в связи

с повышением роли науки и университетов в инновационном развитии Республики Беларусь, так и в связи с необходимостью развития молодежного предпринимательства. Высшие учебные заведения находятся на острие научных исследований, но возникновение идеи требует возможности внедрения их на производстве. Технопарк позволяет сократить путь от научной разработки до ее воплощения в практической деятельности.

Целью исследования является разработка теоретических подходов и практических рекомендаций по организации функционирования

технопарков университетского типа для увеличения их вклада в развитие молодежного предпринимательства на региональном уровне. Постановка цели обусловила необходимость реализации следующих задач: усовершенствовать теоретические подходы к организации деятельности технопарков в части уточнения их роли в развитии предпринимательства на региональном уровне, определении их целей, направлений деятельности, задач, особенностей, моделей и видов; определить наиболее эффективные формы организации и направления деятельности университетских технопарков с точки зрения их содействия развитию предпринимательства на основе изучения зарубежного опыта их функционирования и поддержки развития; разработать рекомендации для содействия деятельности университетских научно-технологических парков в Республике Беларусь и повышению их вклада в развитие молодежного предпринимательства.

Зарубежный опыт формирования и развития научно-технологических парков, оценка их вклада в развитие предпринимательства

Научно-технологический парк представляет собой научно-производственный комплекс, который обеспечивает разработку новых технологий, превращение их в коммерческий продукт и передачу в производство, тестирование и сертификацию продукции, сервисное обслуживание, экспертную оценку технологий. Производственная база парка определяется возможностями фирм-учредителей. Технологический парк формирует благоприятную среду для развития малых инновационных фирм. Технологический парк может состоять из различных центров (исследовательских, маркетинговых, центров обучения и др.). Каждый из них реализует определенный набор услуг [5].

Теоретической основой исследования технопарков являются научные работы зарубежных и отечественных ученых. Так, Г. Ицковиц обосновал необходимость формирования университетских технопарков в рамках концепции «Университет 3.0» [15], Л.Н. Нехорошева, Н.И. Богдан разработали основные направления формирования белорусской инновационной системы и роли научно-технологических парков в ее развитии [18; 19; 20; 21; 22; 23], А.Г. Климков сформули-

ровал направления формирования научно-технологических парков и их особенности [4; 6], Дж. Дабровска разработала показатели оценки деятельности технопарков [4]; Лю Сяоцзюань, Г.Г. Санько разработали рекомендации по развитию научно-технологических парков в развивающихся странах [4].

Среди китайских авторов, внесших значительный вклад в науку о технопарках, У. Дисон, Ван Чао, Чжэн Ру Ся, Чжу Цзинфэн — уточнили понятийный аппарат и особенности технопарков Китая; Цу Минвэн, Фэ Джань, Хайян Чжан — анализировали формирование и рост научных парков Китая, а также изучали опыт Шанхайского Чжаньцзянского технопарка; С. Чао, Ж.Ц. Ван — раскрыли деятельность высоких технопарков Чжунгуаньцунь; Му Ронгпин, Цюй Ван, Лю Янронг — анализировали инновационное развитие в КНР; С. Зенг, С. Кси, С. Там, Ф. Жанг, Ф. Ву, Й. Жуо, Дж. Танн, Й. Зоу, В. Жао, Ю. Гуо — участвовали в разработке Китайской научно-технической инновационной реформы и модели инновационного развития Китая.

Обобщение достигнутых результатов позволяет сделать вывод, что основные цели технопарка заключаются в содействии экономическому росту региона на основе создания среды, благоприятной для развития инновационной деятельности, поддержке предпринимательства в научно-технической сфере, формировании инфраструктуры, способствующей созданию и развитию малых инновационных и технологически ориентированных фирм, производству наукоемкой продукции, технологического трансфера, коммерциализации результатов научно-технических разработок.

Основными задачами технопарка являются:

1) формирование при поддержке банков, коммерческих структур, местных властей региональной инфраструктуры, ориентированной на эффективное использование научно-технического потенциала региональных университетов, других научных организаций, для координации усилий науки, производства и обучения с целью экономического роста региона;

2) поддержка развития малых инновационных и технологически ориентированных фирм, обеспечивающих трансфер высоких технологий и коммерциализации результатов научно-техни-

ческих разработок;

3) развитие и обучение новым подходам в менеджменте, маркетинге наукоемкой продукции, организации наукоемкого производства;

4) инициирование новых идей в области инновационной деятельности, содействие формированию и реализации научно-технических программ, проектов; оказание помощи в разработке и реализации международных программ;

5) формирование условий, благоприятных для научного общения, взаимодействия и сотрудничества участников технопарка;

6) аккумуляция финансовых средств, необходимых для создания малых инновационных предприятий, поддержки венчурных проектов.

На формирование структуры технопарка большое влияние оказывают взаимоотношения университета, местных органов власти и других партнеров при формировании уставного фонда и принятии решений по его развитию.

Анализ развития технопарков в мировой экономике позволяет выделить четыре основные организационные модели технопарков: [3, 4, 5]

- американская (Бельгия, Великобритания, США, Франция);
- европейская (Германия, Испания, Италия, Швеция);
- японская (Япония, некоторые парки Индии);
- китайская.

В американской модели развития научно-технологических парков центральным элементом является университет. Его основная функция — сдача в аренду наукоемким фирмам площадей, пригодных для научно-исследовательской работы и создания экспериментальных инновационных образцов, предоставление им сервисного обслуживания для коммерциализации научных разработок ученых университета. Основные акценты поддержки со стороны государства направлены на развитие сетевого взаимодействия и партнерства с индустриальным сектором. Для этого проводятся широкие PR- и рекламные кампании, направленные на интеграцию.

К отличительным чертам европейской модели технопарков правомерно отнести:

- отраслевые приоритеты в развитии инноваций и коммерциализации научных разработок, так как европейские научно-технологические парки создаются с целью стимулирования

инновационной деятельности и целенаправленного развития высокотехнологичных отраслей экономики, а не университетов или территорий;

- междисциплинарный и межотраслевой подход, что означает объединение ученых, инженеров, предпринимателей и инвесторов из разных отраслей для решения сложных технических задач и привлечение инвестиций;

- фокус на экологическую устойчивость, решение экологических проблем и поддержку развития экологически чистых технологий и инноваций [4].

Особенностями японской модели является региональный акцент в их развитии, так как технопарк используется в качестве главного рычага подъема экономики регионов с помощью наиболее передовых, находящихся в стадии освоения или расцвета отраслей и технологий. Форма технопарка предполагает строительство новых городов-технополисов, сосредоточивающих на своих территориях научные исследования в пионерных отраслях, а также наукоемкое промышленное производство.

Для развития японских национальных технополисов правительством Японии разработаны и приняты к реализации специальные программы:

1. «План развития технополисов», предполагающий предоставление финансовых льгот в виде субсидий и низкопроцентных кредитов для венчурного бизнеса, снижение ставок аренды промышленных мощностей и зданий именно в составе технопарковых структур;

2. «План размещения научного производства», предполагающий территориальную концентрацию производств и их объединение на базе кооперации и специализации;

3. «План базовых исследований», способствующий развитию стартапов в наиболее приоритетных отраслях науки и производства [9].

Правительство Японии при реализации программы общенациональной «технополизации» выдвинуло ряд четких требований, выполнить которые на первом этапе смогли лишь 24 японские префектуры: обязательное наличие в непосредственной близости от объекта нескольких крупных промышленных производств приоритетных наукоемких отраслей индустрии, государственного или частного университета, обеспечивающего подготовку кадров для них,

строительство жилой зоны для обеспечения эффективной миграции трудовых ресурсов, а также близость к авиационному или железнодорожному узлу, обеспечивающему быструю связь с Токио, Нагоей или Осакой.

Технопарки Китая являются одним из важнейших элементов национальной инновационной системы. Основная причина создания научных парков китайских университетов – получить возможность привлечения знаний и инноваций из университетов, разрушить традиционные механизмы, реализовать совместное развитие с представителями производства, академических и научных учреждений, способствовать социально-экономическому развитию. Китайская модель технопарков – это сочетание сильной роли университета (из модели США) с отраслевой и региональной привязанностью (европейская и японские модели). То есть китайская модель по сути является гибридной.

Научно-технологический парк китайских университетов имеет особенности по сравнению с зарубежными моделями технопарков, среди которых:

- университет рассматривается как платформа, на которой установлены связи между учебой, научными исследованиями и производством, как площадка для трансформации научных и технологических достижений студентов и преподавателей, инкубатора высокотехнологических предприятий;

- университет и технопарк, кроме научных работ, оказывают социальные услуги;

- университетский технопарк рассматривается как источник для достижения высокотехнологической индустриализации и стимулирования регионального экономического и технологического развития;

- наличие технопарка является важным фактором оценки университетов и неотъемлемой частью системы высшего образования Китая.

В настоящее время выделяются три направления деятельности научных парков китайских университетов:

- университетский модуль – полностью управляется и эксплуатируется университетом, а государство играет только вспомогательную роль в поддержке парка;

- государственный модуль – создается и

управляется совместно государством и основными университетами. Этот модуль часто формирует модель «одно правительство и несколько университетов» или «один научный парк и несколько университетов»;

- рыночно-ориентированный модуль – управляется и работает в соответствии с принципами управления и деятельности компании, руководимой правительством или университетом, совместно финансируемый из многочисленных департаментов (отделов).

Основным принципом организации деятельности научных парков китайских университетов является сочетание управления государством, зависимость от университета и рыночного механизма стимулирования эффективного сотрудничества разных инновационных ресурсов. Благодаря этому в большинство научных парков университетов Китая привлечены значительные финансовые, материальные, социальные и человеческие ресурсы.

Модель организации и работы китайских технопарков существенным образом отличается от американской и японской. Ключевой целью развития китайских технопарков стало намерение китайского правительства создать максимально благоприятные условия для привлечения зарубежных инвестиций в экономику. В этих целях предоставляются значительные налоговые льготы и стимулируется создание инвестиционного климата. Поддержка осуществляется как со стороны центрального Правительства Китая, так и со стороны местных органов управления.

Со стороны центрального Правительства:

- сформулированы 3 плана развития университетских научных парков,

- разработан и утвержден комплекс определенных вспомогательных подходов,

- местные власти на всех уровнях стимулируются для поддержки создания университетских научных парков.

Со стороны местных органов управления:

- с одной стороны, научным паркам при университетах предлагается льготная политика в отношении инфраструктуры, финансирования, налогообложения, инвестиций, кадрового обеспечения и других вопросов. Например, предоставляется право на пользование землей бесплатно или по низким тарифам, государственные

гарантии в сферах инвестиций и финансовой инфраструктуры. Технопарки освобождаются от некоторых видов налогов в процессе создания и развития. Также принимается ряд мер по стимулированию воспитания молодых ученых;

— с другой стороны, допускается снижение административного вмешательства, переход от управления со стороны государства к инструкциям. Правительство само становится важным и ответственным помощником и фасилитатором для оказания поддержки продуктивной работы университетского научного парка.

Китайские университетские научные парки постепенно переходят от государственного модуля управления к инструкциям со стороны государства, рыночно-ориентированному, зависимому от университета научному управлению. Они сформировали современную систему предприятий и систему прав на интеллектуальную собственность, позволяющую увеличивать доход университетов и научных исследователей.

Китайские научно-технологические парки активно сотрудничают с зарубежными компаниями и учеными, что позволяет им получать доступ к новейшим технологиям и научным разработкам. Китайская модель научно-технологических парков направлена на развитие высокотехнологичных отраслей, таких как информационные технологии, биотехнологии, энергетика и другие, а также на развитие малого и среднего бизнеса, что способствует созданию новых рабочих мест

и повышению уровня жизни населения.

Таким образом, анализ зарубежного опыта создания научно-технологических парков показал, что в каждой организационной модели существует свой приоритет: — центральным элементом в американской модели является университет, в японской – региональный акцент, в европейской – отраслевой. Китайская модель является гибридной, так как совмещает в себе взаимодействие со всеми тремя направлениями (университет, регион и отрасль).

Учитывая широкое распространение научно-технологических парков в зарубежной практике, представляет научный и практический интерес исследование их влияния на макроэкономические показатели развития страны и динамику предпринимательской деятельности. Следует отметить, что отдельной статистики технопарков не организовано. Поэтому для оценки влияния научно-технологических парков на развитие предпринимательства в стране используются показатели динамики ВВП, количества малых и средних предприятий и количества стартапов (на примере данных стран ЕС-27, 2015 – 2022 гг.) (таблицы 1, 2).

Результаты корреляционно-регрессионного анализа показали, что существует прямо пропорциональная статистически значимая связь динамики ВВП и количества малых и средних предприятий ($R^2 = 0,918$), а также динамики ВВП и количества стартапов ($R^2 = 0,94$), что являет-

Таблица 1 – Статистические данные о динамике ВВП и количестве малых и средних предприятий в ЕС-27, 2015–2022 гг.

Год	ВВП, млн \$	Количество малых и средних предприятий
2015	12215145,8	21332794
2016	12548705,8	22074034
2017	13034832,9	21999944
2018	13533353,2	22482080
2019	14018753,1	22482080
2020	13469061,3	22526457
2021	14537731,6	22616812
2022	15810286,6	23190714

Источник: собственная разработка на основе [eurostat.europa.eu](https://ec.europa.eu/eurostat).

Таблица 2 – Статистические данные о динамике ВВП и количестве стартапов малого и среднего бизнеса в странах ЕС-27, 2021 г.

Страна	ВВП 2021 г., млн \$	Количество стартапов малого и среднего бизнеса, 2021 г.
Австрия	406148,7	349
Бельгия	502522	549
Болгария	71076,9	166
Венгрия	154098,3	229
Германия	3601750	3353
Греция	181674,6	163
Дания	336717,7	579
Ирландия	426283,5	528
Испания	1206842	2097
Италия	1787675,6	925
Кипр	24018,9	194
Латвия	33616,6	136
Люксембург	72295	109
Мальта	150115	96
Нидерланды	855470	-
Польша	576150	615
Португалия	214741	403
Румыния	241094,7	313
Словакия	100323,5	74
Словения	52208,1	61
Финляндия	250594	429
Франция	2502119,3	2587
Хорватия	58306,2	115
Чехия	238360,6	245
Швеция	540779,5	1166
Эстония	31444,9	576

Источник: собственная разработка на основе eurostat.europa.eu.

ся подтверждением влияния инновационного предпринимательства на ВВП страны. То есть субъекты малого и среднего предпринимательства положительно влияют на экономику Европейского союза и вносят вклад в увеличение показателя ВВП.

Таким образом, изучение зарубежного опыта развития научно-технологических парков позволило выявить четыре основные организационные модели технопарков: американская, европейская, японская и китайская. Несмотря

на разные модели развития, технопарки имеют общую цель – содействие развитию инновационной экономики, коммерциализации идей молодых ученых и повышению квалификации специалистов. Научно-технологические парки оказывают существенное положительное влияние на развитие предпринимательства. Благодаря технопаркам создается благоприятная среда для развития инновационных проектов и стартапов. Предпринимателям предоставляются специальные условия для разработки и те-

стирования новых технологий, а также доступ к современным лабораториям и оборудованию. Также сотрудничество с научно-технологическими парками обеспечивает доступ к экспертам и консультантам, которые могут помочь предпринимателям в разработке бизнес-планов, поиске инвесторов и партнеров. Это может снизить затраты на финансирование и ускорить процесс запуска проекта, а также оказать содействие решению других вопросов, связанных с запуском и развитием бизнеса. Научно-технологический парк могут создавать новые возможности для предпринимателей и стимулировать конкуренцию на рынке, что приводит к росту экономики и увеличению занятости.

Научно-технологические парки в национальной инновационной системе Республики Беларусь

Научно-технологические парки являются важной частью национальной инновационной системы Республики Беларусь [18, 19, 20, 21, 22, 23].

Анализ развития предпринимательства в Республике Беларусь свидетельствует, что, несмотря на активную динамику, его масштабы не такие значительные, как в странах с развитой рыночной экономикой.

Статистические данные свидетельствуют об увеличении числа организаций малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь (на 1,02 % за 2019–2021 гг.) и числа индивидуальных предпринимателей (на 6,27 % за этот же период). Организаций малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь в 2021 году насчитывалось 111,9 тыс. Число индивидуальных предпринимателей в 2021 году составило 273,1 тыс. человек, что на 3619 человек больше чем в 2020 году и на 16120 больше чем в 2019 году. Основными направлениями деятельности организации малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь является промышленность, оптовая и розничная торговля, ремонт автомобилей и мотоциклов (рисунок 1). Следует отметить неравномерное распределение организаций малого и среднего предпринимательства и индивидуальных предпринимателей по регионам Республики Беларусь (таблица 3): лидирующие позиции по количеству микро-, малых и средних организаций, и по числу индивидуальных предпринимателей

занимают г. Минск и Минская область, Брестская область. Самую низкую позицию по количеству микро-, малых и средних организаций занимает Гродненская область, по количеству индивидуальных предпринимателей – Витебская область.

Как показывают исследования [14], основной причиной отличия Беларуси от стран со средним уровнем дохода и европейских стран является значительное проседание показателей возможностей для бизнеса, предпринимательские способности и внимание СМИ к предпринимательству. В соответствии с результатами исследования, Беларусь входит в тройку самых пессимистично настроенных стран в оценке уровня благоприятных условий для начала бизнеса. Индекс ранней предпринимательской активности в Беларуси является одним из самых низких в мире (7,7 %). Он значительно ниже индексов стран со схожим уровнем экономического развития – 9,33 % в России и 15,4 % в Латвии [14].

Именно поэтому роль научно-технологических парков как драйверов развития предпринимательства в стране, возрастает. Технопарки являются инструментом повышения уровня предпринимательства в стране. Они привлекают и стимулируют людей к созданию собственного бизнеса, коммерциализации своей бизнес-идеи, тем самым развивая инновационную систему нашей страны. В Республике Беларусь технопарки призваны стать площадкой для организации инновационных и высокотехнологичных производств, основанных на технологиях V и VI технологических укладов [16].

По состоянию на 2022 год сеть технопарков Беларуси охватывает все областные центры и г. Минск, и включает 17 зарегистрированных в установленном порядке организаций (в 2016 г. – 10), расположенных в следующих регионах страны: Брестская область – 2; Витебская область – 3; Гомельская область – 2; Гродненская область – 1; Минская область – 3; Могилевская область – 2; г. Минск – 4.

Исследование позволяет выделить 2 типа технопарков в Республике Беларусь: созданные областными городскими органами управления и научно-технологические парки, созданные на базе университетов. В Республике Беларусь 6 научно-технологических парков зарегистрированных на базе учреждений высшего образо-

вания, что составляет 34,6 % от числа всех технопарков Беларуси. Научно-технологические парки при высших учебных заведениях создают благоприятные условия для развития моло-

дежного предпринимательства. В таких парках молодые предприниматели, студенты и преподаватели получают доступ к современным технологиям и инфраструктуре, которые помогают

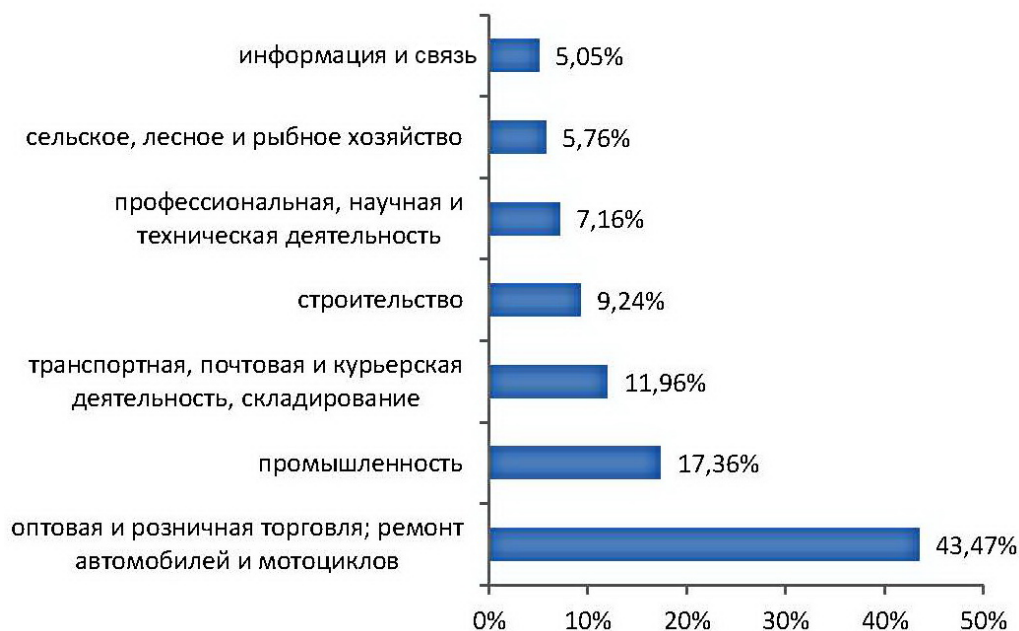


Рисунок 1 – Распределение организаций малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь по направлениям деятельности на 2021 г., в %

Источник: [7].

Таблица 3 – Распределение организаций малого и среднего предпринимательства и индивидуальных предпринимателей Республики Беларусь в разрезе областей, 2021 г.

Область	Микро-, малые и средние организации		Индивидуальные предприниматели	
	единиц	%	человек	%
Брестская область	10667	9,53	36511	13,37
Витебская область	8671	7,75	23842	8,73
Гомельская область	9833	8,79	30793	11,27
Гродненская область	8308	7,42	28611	10,48
г. Минск и Минская область	66001	58,98	126968	46,49
Могилевская область	8428	7,53	26395	9,66
Всего в Республике Беларусь	111908	100	273120	100

Источник: [7].

им развивать свои бизнес-проекты. Наиболее крупными по количеству имеющихся площадей, количеству резидентов и числу созданных рабочих мест научно-технологическими парками являются «Политехник» (научно-технологический парк при Белорусском национальном техническом университете) и Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета.

Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета (ГП «НТПВГТУ») учрежден университетом 26 августа 2010 года. Он является одним из старейших университетских технопарков страны. В соответствии со статьей 26 Закона Республики Беларусь от 10 июля 2012 г. № 425-З «О государственной инновационной политике и инновационной деятельности в Республике Беларусь», его основными направлениями деятельности являются: оказание поддержки резидентам технопарка, содействие в создании и развитии на его базе субъектов малого инновационного предпринимательства, осуществление научной и инновационной деятельности. С 2017 года технопарк вышел на устойчивую безубыточную работу. Совместно с учеными университета в технопарке проводятся научно-исследовательские работы по заказам резидентов, а также предприятий Республики Беларусь и Российской Федерации. По заказу резидентов учеными университета проводятся маркетинговые исследования, оказываются научные услуги, содействие в информационном продвижении. Резидентам технопарка оказывается постоянная поддержка со стороны университета в вопросах правовой защиты интеллектуальной собственности. Технопарк в содружестве с учеными университета оказывает научно-технические услуги по разработке конструкторской, технической и технологической документации, печати изделий на 3D-принтере, 3D-сканированию прототипов и созданию твердотельных моделей, выполнению измерений по изготовленным деталям, восстановлению конструкторской документации на изношенные и вышедшие из строя изделия, конструкторское сопровождение для различных предприятий и физических лиц. В сотрудничестве с университетом, технопарк и резиденты принимают участие в различных выставках и

конференциях, активно участвуют в профориентационной работе и работе со школьниками, встречах с предприятиями региона и зарубежными коллегами. Университет оказывает также организационную поддержку технопарку и резидентам. Например, ходатайство университета как учредителя технопарка в Витебский городской совет депутатов позволило пяти резидентам получить возможность освобождения от уплаты налога в местный бюджет для юридических лиц, использующих упрощенную систему налогообложения. Кроме того, в соответствии с ходатайством университета решением сессии Витебского городского совета депутатов технопарк освобожден начиная с 2020 года от уплаты земельного налога и налога на недвижимость. Резиденты технопарка принимают активное участие в обеспечении учебной деятельности университета, предоставляя возможность проведения лабораторных и практических занятий, производственных и преддипломных практик непосредственно на производстве, выполнение курсовых и дипломных работ.

Одним из главных преимуществ научно-технологических парков при университетах является наличие высококвалифицированных научных и технических специалистов, которые могут помочь молодым предпринимателям в решении технических и научных вопросов, связанных с разработкой новых продуктов и услуг. Кроме того, в университетских научно-технологических парках создаются условия для обмена опытом и знаниями между молодыми предпринимателями. Это позволяет им учиться друг у друга, обмениваться идеями и находить новые пути развития своих бизнес-проектов. Также в университетских научно-технологических парках проводятся различные мероприятия, такие как конференции, семинары и тренинги, которые помогают студентам и молодым предпринимателям расширять свой кругозор и повышать свои навыки ведения бизнеса.

Молодежь как социальная группа играет важную роль в развитии экономической сферы страны, поскольку именно молодые люди являются наиболее склонными к занятию предпринимательской и инновационной деятельностью.

В Республике Беларусь наблюдается рост интереса молодежи к различным видам предпри-

нимательской активности. Для определения потенциала молодежного предпринимательства и проблем в его развитии в рамках данного исследования был проведен опрос среди студентов Витебского государственного технологического университета, результаты которого свидетельствуют о готовности молодежи к участию в предпринимательстве и о необходимых мерах содействия (таблица 4).

Анализ результатов опроса позволил выявить высокий уровень готовности молодежи к открытию своего собственного бизнеса, что характеризуется инициативностью современной молодежи и стремлением обеспечения коммерческого эффекта от реализации собственных идей. Приоритетными видами желаемого бизнеса у молодежи определены услуги населению и реклама. Основными стимулами для создания собствен-

ного бизнеса отмечены: улучшение материального состояния – с целью получения коммерческого эффекта; польза для общества – для обеспечения социального развития региона (страны). Респонденты отметили, что важное значение имеет саморазвитие, что говорит о стремлении молодежи к реализации своих инновационных идей с целью самовыражения. Основными барьерами при развитии собственного бизнеса респондентами отмечены: отсутствие финансирования для обеспечения закупки материально-сырьевых ресурсов, инвестиций в основной капитал в первую очередь; отсутствие самой идеи для запуска стартапа на основе принципа оригинальности; риск неудачи, обусловленный неуверенностью в собственных силах (идеях, компетенциях, команде, финансовых ресурсах и др.) Несмотря на то, что большинство (более 70 %) опрошенных

Таблица 4 – Результаты опроса молодежи по тематике молодежного предпринимательства

Вопрос	Число ответов (n = 23 чел.)
Желание заняться бизнесом («да» или «вероятно»)	87 % (20 чел.)
Приоритетные виды бизнеса, планируемые к открытию	Услуги населению – 34,78 % (8 чел.) Реклама – 26,09 % (6 чел.) Информационные технологии – 17,39 % (4 чел.) Образование – 13,04 % (3 чел.) Инновационные разработки – 8,7 % (2 чел.)
Наличие в учебном плане учреждений образования дисциплин, связанных с бизнес-тематикой	Наличие – 73,91 % (17 чел.) Отсутствие – 26,09 % (6 чел.)
Основные стимулы для реализации собственного бизнеса	Улучшение материального состояния – 47,83 % (11 чел.) Саморазвитие – 26,09 % (6 чел.) Польза для общества – 13,04 % (3 чел.) Применение теоретических знаний на практике – 13,04 % (3 чел.)
Основные барьеры при развитии собственного бизнеса	Отсутствие финансирования – 56,52 % (13 чел.) Отсутствие самой идеи – 39,13 % (9 чел.) Риск неудачи – 4,35 % (1 чел.)
Проблемные вопросы в актуализации образовательного процесса с точки зрения развития компетенций у молодежи в области предпринимательства	Большой объем теоретического материала – 43,48 % (10 чел.) Недостаточное количество практических занятий совместно со специалистами-практиками (или на их базе) – 39,13 % (9 чел.) Отсутствие практического опыта ведения бизнеса у преподавателей – 17,39 % (4 чел.)

Источник: собственная разработка.

отметили, что в учебном плане их подготовки присутствуют дисциплины, направленные на формирование бизнес-компетенций, выявлены и проблемные вопросы в направлении развития бизнес-компетенций и приобретения предпринимательских навыков у молодежи:

- большой объем теоретического материала;
- недостаточное количество практических занятий совместно со специалистами-практиками (или на их базе), что требует привлечения к образовательному процессу специалистов, имеющих опыт в области предпринимательства;
- отсутствие практического опыта ведения бизнеса у преподавателей.

Таким образом, молодежь готова к развитию предпринимательства, но сталкивается с рядом проблем: отсутствие финансирования, нехватка практических знаний. Поэтому технопарки, созданные на базе учреждений высшего образования Республики Беларусь, являются важным инструментом для поддержки и развития молодежного предпринимательства. Они предоставляют молодым предпринимателям доступ к современной инфраструктуре, технологическим ресурсам и экспертам в различных областях. Это позволяет молодым предпринимателям создавать инновационные продукты и услуги, улучшать их качество и повышать конкурентоспособность на рынке. Научно-технологические парки также предоставляют молодым предпринимателям возможность обучения и развития своих профессиональных навыков. Они могут участвовать в тренингах, семинарах и мастер-классах, проводимых экспертами в различных областях бизнеса. Это помогает молодым предпринимателям получить необходимые знания и навыки для успешного запуска и развития своего бизнеса. Научно-технологические парки предоставляют молодым предпринимателям доступ к инвестиционным и финансовым ресурсам. Они могут получить финансирование для развития своих бизнес-проектов от инвесторов и венчурных фондов, которые должны активно работать в научно-технологических парках.

Направления повышения роли научно-технологических парков в развитии

молодежного предпринимательства в регионе

Формирование благоприятной предпринимательской среды в университете требует

внедрения организационно-экономических рычагов, форм и методов управления инновационными процессами, которые позволяют на высоком уровне интегрировать научные исследования, образовательную деятельность и практику подготовки современных кадров с инновационными компетенциями, реализацию высокотехнологичных проектов, создание стабильное функционирование инновационных производств и постоянно совершенствуемую систему коммерциализации знаний.

Университетские технопарки могут стать мощными катализаторами развития молодежного предпринимательства и стартап движения, так как являются эффективным инструментом коммерциализации инновационных идей студенчества и профессорско-преподавательского состава. Но, как показали результаты экспертного опроса, необходима более глубокая их интеграция с университетом, что предполагает комплекс мероприятий по двум направлениям:

- 1) усиление интеграции университетского технопарка с образовательной и научно-исследовательской деятельностью студентов и преподавателей;
- 2) повышение экономической эффективности деятельности университетский технопарков для увеличения их финансовой возможности финансировать инновации.

Для реализации первого направления представляется правомерным внедрить новую форму реализации дипломной работы в виде стартап-проекта. Дипломная работа «Стартап как диплом» представляет собой работу в виде описания стартап-проекта, подготовленного, разработанного и/или реализуемого одним или несколькими обучающимися (командой стартап-проекта, в которую входит обучающийся или несколько обучающихся), демонстрирующего уровень подготовленности выпускника к самостоятельной профессиональной деятельности, сформированности компетенций, установленных образовательными стандартами высшего образования или образовательными стандартами, самостоятельно разработанными образовательными организациями высшего образования [11]. Диплом как стартап-проект может быть хорошим проводником для реализации своих идей и получения финансирования от науч-

но-технологических парков. Диплом как стартап-проект подразумевает, что студент или член профессорско-преподавательского состава, имеющий идею, научную проработку или конструкторскую работу, имеет право зарегистрировать свой проект в качестве ИП, ООО, ОДО, ЗАО и т.д. (рисунок 2). После этого как юридическое лицо он имеет право регистрироваться в качестве резидента ГП «НТПВГТУ» (технопарка), в статусе резидента ГП «НТПВГТУ» обратиться в фонд инновационного развития Государственного предприятия ГП «НТПВГТУ» (далее – ФИР НТП ВГТУ) для финансовой поддержки своего стартап-проекта (рисунок 2).

Таким образом, выполнение дипломных работ в форме стартап-проекта является способом усиления взаимодействия университета и научно-технологического парка для развития и коммерциализации бизнес-идей студентов.

Университетские научно-технологические парки являются хорошей базой для улучшения теоретических и практических навыков студентов и преподавателей. Для обеспечения их эффективного функционирования необходимо формирование благоприятных экономических условий. Например, в Китае университетским технопаркам представлен ряд льгот для обеспе-

чения возможности их рентабельной деятельности со стороны местных органов управления, например:

а) освобождение от налогов на землю, недвижимость, льготирования налога на прибыль (от 50 до 100 % в первые пять лет хозяйствования);

б) местные органы управления полностью формируют инфраструктуру технопарка;

в) резиденты технопарка освобождаются от местных налогов на 2 года, от социальных налогов на 50 % и имеют льготы при уплате коммунальных платежей (оплачивая их по льготному тарифу на 30 % ниже);

г) высокотехнологичные проекты и проекты, соответствующие государственным приоритетам, получают финансовую поддержку от местного департамента по науке и технологиям;

д) высокотехнологичные компании – резиденты технопарка – первые два года освобождаются от арендной платы;

е) если предприятие – резидент технопарка – улучшает социальную сферу (например, финансирует объекты социальной инфраструктуры университета, мероприятия по идеологическому и патриотическому воспитанию студентов и пр.), ему компенсируется арендная плата в размере от 50 до 100 %.



Рисунок 2 – Финансирование диплома как стартап-проекта

В Республике Беларусь местные органы управления оказывают содействие в развитии только тех технопарков, учредителями которых являются областные органы управления. При этом университетские технопарки практически не имеют никаких дополнительных льгот. Поэтому деятельность по коммерциализации научных разработок университета осуществляется только усилиями самого университета.

Как представляется, для улучшения условий хозяйственной деятельности и содействия устойчивому финансово-экономическому состоянию университетских технопарков в Беларуси необходима реализация следующих направлений.

1. Повышение конкурентоспособности и привлекательности университетских технопарков для потенциальных резидентов за счет введения дополнительных льгот и снижения тарифов на электро- и теплоэнергию. Следует пояснить, что в настоящее время конкурентоспособность университетских технопарков снижена по сравнению с другими субъектами инновационной инфраструктуры, что обусловлено ограниченным количеством льгот и преференций, которые имеет университетский технопарк. Например, перечень льгот для резидентов «Великий Камень» распространяется на налог на прибыль, налог на недвижимость, налог на землю, налог на дивиденды, льготы на таможенное оформление, упрощенное таможенное регулирование и пр. Для резидентов университетских технопарков предусмотрена только 1 льгота – снижение налога на прибыль. Льготы также могут быть представлены по решению городского совета депутатов для предприятий – резидентов технопарка, работающих по упрощенной системе налогообложения. Технопарк университета, в отличие от других субъектов инновационной инфраструктуры, постоянно дополнительно осуществляет образовательную деятельность. В результате, на территории технопарка ежедневно находится определенное количество студентов, что увеличивает расходы на коммунальные услуги, отопление и электроэнергию. Например, тариф на энергоносители для университета как бюджетной организации равен 0,36 *руб/кВт*, а для университетского технопарка как коммерческой организации 0,44 *руб/кВт*, для резидентов Китайско-Белорусского индустриального пар-

ка «Великий Камень» – 0,15117 *руб/кВт*, для ООО «Минский городской научно-технологический парк» – 0,25 *руб/кВт*, для резидентов Свободной экономической зоны – в диапазоне 0,3–0,32 *руб/кВт* (в зависимости от объемов потребляемой энергии). Такое ограниченное и намного меньшее количество льгот, которые имеют университетские технопарки, а также высокие тарифы платы за электро- и теплоэнергию создают неравные условия хозяйствования для субъектов инновационной инфраструктуры, обуславливая переход многих инновационных предприятий на другие субъекты инновационной инфраструктуры (в свободные экономические зоны, на Китайско-Белорусский индустриальный парк «Великий Камень», в технопарки, созданные за счет средств областных (или городских) исполнительных комитетов).

2. Внесение изменений в распределение доходов от субаренды. Научно-технологические парки, учредителями которых являются учреждения образования, имеют ограниченное количество производственных и офисных площадей. В такой ситуации резервом увеличения выручки и дальнейшего развития Технопарков является дополнительная аренда производственных и офисных площадей у университета для их сдачи в субаренду. В связи с принятием в 2015 году изменений в Указ № 150 («О некоторых вопросах аренды») прибыль от субаренды получить невозможно. В целях развития университетских технопарков, увеличения объемов деятельности, расширения сфер деятельности, заинтересованности в привлечении резидентов, обеспечения рентабельной работы необходимо законодательно закрепить возможность получать доходы от субаренды.

3. Уточнение применения норм, установленных Законом Республики Беларусь «О борьбе с коррупцией» в отношении права государственных должностных лиц (проректоров, деканов, заведующих кафедрами) быть учредителями коммерческих структур, владеть долями (акциями) в уставных фондах коммерческих организаций, принимать участие лично или через иных лиц в управлении коммерческой организацией для правильного и единообразного применения данных норм. В университетах выполняются научно-исследовательские работы, результаты

которых могут быть внедрены на университетском технопарке. Для коммерциализации своих научных разработок в технопарке ученые университета должны учредить малое предприятие и зарегистрировать его в качестве резидента технопарка. При этом авторами научных разработок являются должностные лица университета, которые приравнены к государственным должностным лицам (например, проректоры, деканы факультетов, заведующие кафедрами). Но на данный момент нет однозначного ответа на вопрос о том, имеют ли право государственные должностные лица (проректоры, деканы, заведующие кафедрами) быть учредителями коммерческих структур, владеть долями (акциями) в уставных фондах коммерческих организаций, принимать участие лично или через иных лиц в управлении коммерческой организацией, поскольку абз. 5 ч. 1 ст. 17 Закона Республики Беларусь от 15.07.2015 № 305-З «О борьбе с коррупцией» (с изм. и доп.) (далее – Закон) это запрещает, а ч. 3 ст. 20 этого же Закона позволяет.

Необходима также отдельная программа стимулирования научных работников для осуществления инновационной деятельности (научные кредиты для проведения исследований – беспроцентные, необлагаемые налогом), премии от реализации инновационной продукции и доходы от продажи патентов, др.

Заключение

В настоящее время университетские технопарки Республики Беларусь развиваются, в основном, используя собственные ресурсы и помощь университета. Однако, если поддержать их развитие на уровне региональных органов управления, чтобы обеспечить конкурентоспособность по сравнению с другими субъектами инновационной инфраструктуры (свободные

экономические зоны, городские технопарки, технопарки, финансируемые облисполкомами), вклад университетских технопарков в формирование и развитие инновационной экономики Беларуси был бы более значимым. Анализ зарубежного опыта развития технопарков позволил сделать вывод, что для успешного развития университетских технопарков необходимо активное участие трех заинтересованных сторон (правительство, региональные органы управления, университеты), а также принятие согласованных нормативно-правовых документов на государственном уровне и уровне области, города. Опыт показал, что в среднем, на формирование и становление университетского технопарка уходит до 10 лет.

В целом, научно-технологические парки создают благоприятную среду для развития молодежного предпринимательства, обеспечивая доступ к инфраструктуре, технологическим ресурсам, экспертам и финансовым ресурсам. Они помогают молодым предпринимателям создавать инновационные продукты и услуги, повышать качество своего бизнеса и улучшать конкурентоспособность на рынке.

Университетские технопарки являются хорошей формой сотрудничества образования, науки и бизнеса, обеспечивают эффективную практико-ориентированную подготовку специалистов, непосредственную связь с производством и, в перспективе, коммерциализацию научных идей студентов и сотрудников университета.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Указ Президента Республики Беларусь от 03.01.2007 № 1 (ред. от 11.07.2012) *Об утверждении Положения о порядке создания субъектов инновационной инфраструктуры, режим*

REFERENCES

1. Decree of the President of the Republic of Belarus dated 03.01.2007 № 1 (ed. dated 11.07.2012) *On approval of the Regulations on the Procedure for the creation of innovative infrastructure*

- доступа: <http://research.bsu.by/wp-content/uploads/2016/10/ukaz-President-03.01.2007-N1.pdf> (дата доступа 30.10.2022).
2. Климков, А. Г. (2019), *Совершенствование деятельности научно-технологических парков Республики Беларусь*, режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream> (дата доступа 23.01.2023).
 3. *Технопарки как элемент инновационной инфраструктуры страны*, режим доступа: <https://www.nbrb.by/bv/articles/10344.pdf> (дата доступа 05.01.2023).
 4. Лю Сюэцзюань (2021), *Технопарки в мировой экономике: особенности развития и регулирования в Китайской Народной Республике*, Минск, 194 с.
 5. Мухамедьяров, А. М., *Инновационный менеджмент: учебное пособие*, режим доступа: <https://bzbook.ru/Innovacionnyj-menedzhment-uchebnoe-posobie.12.html> (дата доступа 11.01.2023).
 6. Климков, А. Г. (2019), *Научно-технологические парки Республики Беларусь: проблемы и перспективы развития*, режим доступа: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/237774/1/458-462.pdf> (дата доступа 23.01.2023).
 7. *Малое и среднее предпринимательство в Республике Беларусь 2022*, Национальный статистический комитет Республики Беларусь, режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_54356/?sphrase_id=1917323 (дата доступа 18.03.2023).
 8. *Национальный статистический комитет Республики Беларусь, Статистика малого и среднего предпринимательства в Республике Беларусь*, режим доступа: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/strukturnaja_statistika/osnovnye-pokazateli-deyatelnosti-mikroorganizatsiy-i-malykh-organizatsiy/index.php?sphrase_id=1917323 (дата доступа 21.03.2023).
 - entities* [Ukaz Prezidenta Respubliki Belarus ot 03.01.2007 № 1 (red. ot 11.07.2012) Ob utverzhdenii Polozheniia o poriadke sozdaniia subiektov innovatsionnoi infrastruktury], available at: <http://research.bsu.by/wp-content/uploads/2016/10/ukaz-President-03.01.2007-N1.pdf> (accessed 30.10.2022).
 2. Klimkov, A. G. (2019), *Improving the activities of scientific and technological parks of the Republic of Belarus* [Sovershenstvovanie deiatelnosti nauchno-tekhnologicheskikh parkov Respubliki Belarus], available at: <https://elib.bsu.by/bitstream> (accessed 23.01.2023).
 3. *Technoparks as an element of the country's innovation infrastructure* [Tekhnoparki kak element innovatsionnoi infrastruktury strany], available at: <https://www.nbrb.by/bv/articles/10344.pdf> (accessed 05.01.2023).
 4. Liu Xiaojuan (2021), *Tekhnoparki v mirovoi ekonomike: osobennosti razvitiia i regulirovaniia v Kitaiskoi Narodnoi Respublike* [Technoparks in the world economy: features of development and regulation in the People's Republic of China], Minsk, 194 p.
 5. Mukhamedyarov, A. M., *Innovatsionnyi menedzhment: Uchebnoe posobie* [Innovation Management: Textbook], available at: <https://bzbook.ru/Innovacionnyj-menedzhment-uchebnoe-posobie.12.html> (accessed 11.01.2023).
 6. Klimkov, A. G. (2019), *Science and Technology Parks of the Republic of Belarus: problems and prospects of development* [Nauchno-tekhnologicheskie parki Respubliki Belarus: problemy i perspektivy razvitiia], available at: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/237774/1/458-462.pdf> (accessed 23.01.2023).
 7. *Small and medium-sized enterprises in the Republic of Belarus 2022*, National Statistical Committee of the Republic of Belarus [Maloe i srednee predprinimatelstvo v Respublike Belarus 2022], available at: <https://www.belstat.gov>

9. *Положение молодежи в Республике Беларусь в 2021*, Министерство образования Республики Беларусь, режим доступа: <https://молодежь.бел/upload/npa/Доклад%20молодежи%20-%202021.pdf> (дата доступа 13.04.2023).
10. *Концепция построения и развития экосистемы молодежного предпринимательства в системе высшего образования*, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Москва, 2022.
11. *Методические рекомендации для образовательных организаций высшего образования по формированию экосистемы, направленной на развитие практик сопровождения обучающихся при подготовке и защите выпускных квалификационных работ в формате «Стартап как диплом»*, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Москва, 2022.
12. *Субъекты инновационной инфраструктуры*, Государственный комитет по науке и технологиям Республики Беларусь, Белорусский институт системного анализа и информационного обеспечения научно-технической сферы, Минск, 2020.
13. *Индустриальный парк, технопарк*, режим доступа: https://author24referat.ru/referat/industrialnyy_park_tehnopark/ (дата доступа 17.01.2023).
14. Акулова, М., Морозов, Р., Абрашкевич, А., Герреро, М. (2020), *Глобальный мониторинг предпринимательства: GEM Беларусь 2019/2020*, режим доступа: <https://beroc.org/upload/iblock/f3c/f3c158cc802c8f88db13c995398763e6.pdf> (дата доступа: 20.05.2023).
15. Vankevich, A. *Education and Innovation Growth: Establishing Entrepreneurial Universities, Modeling Economic Growth in Contemporary Belarus*. Bruno S. Sergi Harvard University, USA, Published: 08 Nov 2019 Publisher: Emerald Publishing Limited, 421 p., p.181–191.
16. Директива Президента Республики Беларусь [by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_54356/?sphrase_id=1917323](https://ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_54356/?sphrase_id=1917323) (accessed 18.03.2023).
8. *Statistics of small and medium-sized enterprises in the Republic of Belarus*, National Statistical Committee of the Republic of Belarus [Statistika malogo i srednego predprinimatelstva v Respublike Belarus], available at: https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/strukturnaja_statistika/osnovnye-pokazateli-deyatelnosti-mikroorganizatsiy-i-malykh-organizatsiy/index.php?sphrase_id=1917323 (accessed 21.03.2023).
9. *The situation of youth in the Republic of Belarus in 2021*, Ministry of Education of the Republic of Belarus [Polozhenie molodezhi v Respublike Belarus v 2021], available at: <https://молодежь.бел/upload/npa/Доклад%20молодежи%20-%202021.pdf> (accessed 13.04.2023).
10. *The concept of building and developing an ecosystem of youth entrepreneurship in the higher education system* [Kontseptsiiia postroeniia i razvitiia ekosistemy molodezhnogo predprinimatelstva v sisteme vysshego obrazovaniia], Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, 2022.
11. *Methodological recommendations for educational institutions of higher education on the formation of an ecosystem aimed at the development of practices for supporting students in the preparation and defense of final qualifying papers in the format of "Startup as a diploma"* [Metodicheskie rekomendatsii dlia obrazovatelnykh organizatsii vysshego obrazovaniia po formirovaniu ekosistemy, napravlennoi na razvitie praktik soprovozhdeniia obuchaiushchikhsia pri podgotovke i zashchite vypusknnykh kvalifikatsionnykh rabot v formate "Startup kak diplom"], Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation Moscow, 2022.
12. *Subjects of innovation infrastructure* [Subieekty innovatsionnoi infrastruktury], The State Commi-

- № 3 *О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства* от 14 июня 2007 г., Консультант плюс. Беларусь. Технология, ООО «ЮрСпектр», Минск.
17. Государственный комитет по науке и технологиям, режим доступа: https://www.gknt.gov.by/upload/iblock/Prikaz_-166.pdf (дата доступа: 23.01.2023).
 18. Нехорошева, Л. Н. (2017), *Изменение инновационного ландшафта в контексте формирования индустрии 4.0: новые угрозы и первоочередные задачи*, Санкт-Петербург, с. 29–50.
 19. Нехорошева, Л. Н. (2017), Коммерциализация результатов научно-технической деятельности: эволюция моделей, источники финансирования, зарубежный опыт, *Наука и инновации*, №2 (168), с. 52–57.
 20. Нехорошева, Л. Н. (2017), Глобальные вызовы в контексте четвертой промышленной революции: новые требования к национальной экономике и угроза возникновения «технологической пропасти», *Стратегия развития экономики Беларуси: вызовы, инструменты реализации и перспективы: сборник научных статей. Ч. 1*, Минск, с. 95–110.
 21. Нехорошева, Л. Н. (2018), Развитие экосистемы венчурной деятельности и формирование новых бизнес-моделей в Республике Беларусь в контексте диджитализации и коммуникаций четвертой промышленной революции, *Научные труды БГЭУ*, выпуск 11 Минск, с. 306–316.
 22. Богдан, Н. И. (2017), Инновационная политика и поиск новых источников экономического роста: мировые тенденции и вызовы Беларуси, *Белорусский экономический журнал*, 2017, № 1, с. 4–23.
 23. Богдан, Н. И. (2019), Национальная инновационная система Беларуси в системе европейских индикаторов инноваций, *Белорусский экономический журнал*, 2019, № 3, с. 4–17.
 - tee for Science and Technology of the Republic of Belarus, the Belarusian Institute of System Analysis and Information Support of the Scientific and Technical Sphere, Minsk, 2022.
 13. *Industrial Park, technopark* [Industrialnyi park, tekhnopark], available at: https://author24.referat.ru/referat/industrialnyy_park_tehnopark (accessed 17.01.2023).
 14. Akulova, M., Morozov, R., Abrashkevich, A., Guerrero, M. (2020), *Globalnyi monitoring predprinimatelstva: GEM Belarus 2019/2020* [Global Entrepreneurship Monitoring: GEM Belarus 2019/2020], available at: <https://beroc.org/upload/iblock/f3c/f3c158cc802c8f88db13c995398763e6.pdf> (accessed: 20.05.2023).
 15. Vankevich, A. *Education and Innovation Growth: Establishing Entrepreneurial Universities*, Modeling Economic Growth in Contemporary Belarus. Bruno S. Sergi Harvard University, USA, Published: 08 Nov 2019 Publisher: Emerald Publishing Limited, 421 p., p.181–191.
 16. Directive of the President of the Republic of Belarus № 3 *On priority directions of strengthening the economic security of the state* of June 14, 2007 [Direktiva Prezidenta Respubliki Belarus № 3 *O prioritetnykh napravleniakh ukrepleniia ekonomicheskoi bezopasnosti gosudarstva ot 14 iyunia 2007 g.*], Consultant Plus. Belarus. Technology, LLC YurSpektr, Minsk.
 17. *State Committee for Science and Technology* [Gosudarstvennyi komitet po nauke i tekhnologii], access mode: https://www.gknt.gov.by/upload/iblock/Prikaz_-166.pdf (accessed: 23.01.2023).
 18. Nekhorosheva, L. N. (2017), *Changing the innovation landscape in the context of the formation of industry 4.0: New threats and priorities* [Izmenenie innovatsionnogo landshtafta v kontekste formirovaniia industrii 4.0: novye ugrozy i первоочередные задачи], St. Petersburg, pp. 29–50.

19. Nekhorosheva, L. N. (2017), Commercialization of the results of scientific and technical activities: evolution of models, sources of financing, foreign experience [Kommertsializatsiia rezultatov nauchno-tekhnicheskoi deiatelnosti: evoliutsiia modelei, istochniki finansirovaniia, zarubezhnyi opyt], *Nauka i innovatsii – Science and Innovation*, № 2 (168), pp. 52–57.
20. Nekhorosheva, L. N. (2017), Global challenges in the context of the Fourth Industrial Revolution: new requirements for national The economy and the threat of a «technological abyss» [Globalnye vyzovy v kontekste chetvertoi promyshlennoi revoliutsii: novye trebovaniia k natsionalnoi ekonomike i ugroza vozniknoveniia «tekhnologicheskoi propasti»], *Strategiia razvitiia ekonomiki Belarusi: vyzovy, instrumenty realizatsii i perspektivy: sbornik nauchnykh statei – Economic development strategy of Belarus: challenges, implementation tools and prospects: collection of scientific articles. In the 4 p., part 1*, Minsk, pp. 95–110.
21. Nekhorosheva, L. N. (2018), The development of the ecosystem of venture activity and the formation of new business models in the Republic of Belarus in the context of digitalization and communications of the Fourth Industrial Revolution [Razvitie ekosistemy venchurnoi deiatelnosti i formirovanie novykh biznesmodelei v Respublike Belarus v kontekste didzhitalizatsii i kommunikatsii chetvertoi promyshlennoi revoliutsii], *Nauchnye trudy BGEU – Scientific works of BSEU*, edition 11 Minsk, pp. 306–316.
22. Bogdan, N. I. (2017), Innovation policy and the search for new sources of economic growth: global trends and Challenges of Belarus [Innovatsionnaia politika i poisk novykh istochnikov ekonomicheskogo rosta: mirovyie tendentsii i vyzovy Belarusi], *Belorusskii ekonomicheskii zhurnal – Belarusian Economic Journal*, 2017, № 1, pp. 4–23.
23. Bogdan, N. I. (2019), The National Innovation System of Belarus in the system of European innovation indicators [Natsionalnaia innovatsionnaia sistema Belarusi v sisteme evropeiskikh indikatorov innovatsii], *Belorusskii ekonomicheskii zhurnal – Belarusian Economic Journal*, 2019, № 3, pp. 4–17.

Статья поступила в редакцию 30.08.2023 г.

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ

RESOURCE POTENTIAL OF AGRICULTURAL ORGANIZATIONS IN THE REGIONS: THEORETICAL ASPECTS AND ANALYSIS OF THE STATE

УДК 33:004

О.П. Советникова*, А.В. ПетроваВитебский государственный технологический
университет<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-128-139>**O. Sovetnikova*, A. Petrova**Vitebsk State Technological
University

РЕФЕРАТ

РЕСУРСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ, СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОТРАСЛЬ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ, ИНВЕСТИЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ, ТРУДОВОЙ ПОТЕНЦИАЛ, ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ

Сельское хозяйство является важнейшим элементом экономической системы. Одним из основных направлений современной аграрной политики Республики Беларусь является повышение конкурентоспособности отечественной сельскохозяйственной продукции, достижение чего во многом зависит от текущего состояния и эффективности использования ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций. Ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций характеризуется сложной системой показателей, находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости.

Целью данного исследования является уточнение понятия ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации на основе изучения экономической сущности данной дефиниции и различных подходов отечественных и зарубежных авторов, а также оценка отдельных функциональных составляющих ресурсного потенциала сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи: изучить научные труды отечественных и зарубежных ученых в области формирования и эффективности использования ресурсного потенциала сельско-

ABSTRACT

RESOURCE POTENTIAL OF AN AGRICULTURAL ORGANIZATION, AGRICULTURAL INDUSTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS, INVESTMENT POTENTIAL, LABOR POTENTIAL, DIGITAL TRANSFORMATION

Agriculture is the most important element of the economic system. One of the main directions of the modern agrarian policy of the Republic of Belarus is to increase the competitiveness of domestic agricultural products, the achievement of which largely depends on the current state and efficiency of using the resource potential of agricultural organizations. The resource potential of agricultural organizations is characterized by a complex system of indicators that are interconnected and interdependent.

The purpose of this study is to clarify the concept of the resource potential of an agricultural organization based on the study of the economic essence of this definition and various approaches of domestic and foreign authors, as well as the assessment of individual functional components of the resource potential of the agricultural sector of the Republic of Belarus.

To achieve this goal, it was necessary to solve the following tasks: to study the scientific works of domestic and foreign scientists in the field of formation and efficient use of the resource potential of agricultural organizations; to analyze the current state of individual elements of the resource system of the industry under study.

The theoretical and methodological basis of the study were the scientific works of domestic and for-

* E-mail: sovetnikova@bk.ru (O. Sovetnikova)

хозяйственных организаций; провести анализ текущего состояния отдельных элементов ресурсной системы исследуемой отрасли.

Теоретической и методологической основой исследования явились научные труды отечественных и зарубежных ученых по исследуемой тематике. Методическую базу исследования определили общенаучные методы познания, принципы и методы системного подхода.

Проведенный анализ позволил разработать и обосновать авторское определение категории «ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации» с позиции системного подхода и определить его структурные элементы, а также сделать вывод о том, что в настоящее время не сформировано четкого и однозначного представления о структуре ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций, общепринятого методологического подхода к его оценке. Выбор метода зависит от целей и задач исследования, уровня, на котором производится анализ и оценка, подхода к пониманию сущности и содержания формирования, развития и воспроизводства ресурсного потенциала.

eign scientists on the subject under study. The methodological basis of the study was determined by general scientific methods of cognition, principles and methods of a systematic approach.

The analysis made it possible to develop and substantiate the author's definition of the category "resource potential of an agricultural organization" from the standpoint of a systematic approach and to determine its structural elements, as well as to conclude that at present there is no clear and unambiguous idea of the structure of the resource potential of agricultural organizations, generally accepted methodological approach to its evaluation. The choice of method depends on the goals and objectives of the study, the level at which analysis and evaluation are carried out, the approach to understanding the essence and content of the formation, development and reproduction of the resource potential.

Введение

Главной целью развития страны на 2021–2025 годы, определенной в «Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы», является повышение качества жизни населения на основе роста конкурентоспособности экономики, привлечения инвестиций и инновационного развития в условиях цифровой трансформации [1].

В настоящее время проблема качественного экономического роста сельского хозяйства страны, увеличения объемов производства продукции и повышения конкурентоспособности отечественных товаров на внутреннем и мировом рынках на основе мобилизации и повышения эффективности использования ресурсного потенциала организаций аграрного сектора экономики является одной из наиболее актуальных.

Сельское хозяйство является важнейшим элементом экономической системы согласно Национальной стратегии устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г., по-

ложений Директивы Президента Республики Беларусь № 6 «О развитии села и повышении эффективности аграрной отрасли». Целью инновационной рыночной экономики современного государства становится укрепление экономического состояния сельского хозяйства как приоритетной отрасли, формирующей государственную безопасность и продовольственную стабильность, что соответствует выполнению отдельных индикаторов Национальной системы показателей достижения Целей устойчивого развития (далее – ЦУР) на период до 2030 г., в частности целей: 2 «Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства»; 8 «Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производительной занятости и достойной работе для всех» [2].

Одним из основных направлений современной аграрной политики Республики Беларусь является повышение конкурентоспособности

отечественной сельскохозяйственной продукции, достижение чего во многом зависит от текущего состояния и эффективности использования ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций. Ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций характеризуется сложной системой показателей, находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости, основополагающими элементами которой являются природный, материально-технический, трудовой, инновационный, финансовый потенциалы.

Материально-технические объекты агропромышленных комплексов, используемые для производства сырья и его переработки, являются основными средствами производства, однако для производства готовой продукции недостаточно одних средств труда, необходимы также качественное сырье и заготовки, которые являются предметами труда. Для закупки предметов труда и выплаты заработной платы работникам сельскохозяйственной организации необходимы денежные средства, которые являются оборотными производственными средствами или финансовым потенциалом. Рациональное сочетание среднегодовой стоимости основных и оборотных производственных средств во многом свидетельствует о финансовой устойчивости сельскохозяйственной организации и уровне ее стабильности.

Целью данного исследования является уточнение понятия ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации на основе изучения экономической сущности данной дефиниции и различных подходов отечественных и зарубежных авторов, а также оценка отдельных функциональных составляющих ресурсного потенциала сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь.

Для достижения данной цели необходимо было решить следующие задачи: изучить научные труды отечественных и зарубежных ученых в области формирования и эффективности использования ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций; провести анализ текущего состояния отдельных элементов ресурсной системы исследуемой отрасли.

Исследование базируется на изучении и обобщении специальных литературных источников отечественных и зарубежных авторов,

нормативной и правовой базы Республики Беларусь в сфере развития сельского хозяйства, программных документов и статистических данных.

Исследованию сущности и развитию ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций посвящены научные труды таких ученых, как А. Алтухов, В. Бельский, Г. Бесплохотный, Д. Буклагин, Е. Быкова, Е. А. Гридюшко, Н. Киреенко, А. Кирьяков, В. Максимов, В. Нечаев, А. Петриков, В. Понуровская, В. Прудникова, А. Серков, Е. Семенова, В. Осипова, В. Федоренко, М. Федоров и другие.

Однако проблема структуризации ресурсного потенциала с учетом особенностей сельского хозяйства как приоритетной отрасли экономики является недостаточно изученной, что и определило цель исследования. Методология исследования основана на системном и комплексном подходах, применяемых к исследованию ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций, с использованием общенаучных методов анализа, сравнения, обобщения.

Научная новизна исследования состоит в разработке и обосновании авторского определения категории «ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации» с позиции системного подхода и определении его структурных элементов.

Понятие ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации и определение его структурных элементов

Способность сельскохозяйственного предприятия достигать определенные цели и получать планируемые результаты финансово-экономической деятельности, сохраняя при этом способность к эффективному развитию, представляет собой его ресурсный потенциал. Определение потенциала организации неразрывно связано со структурой его ресурсов. Именно ресурсную систему возможностей организации изучаемого сектора рассматривают большинство исследователей, выделяя при этом разное количество составляющих ресурсного потенциала. Данный подход определяет ресурсный потенциал сельскохозяйственного предприятия как систему взаимосвязанных ресурсов, в результате взаимодействия которых достигаются поставленные цели финансово-хозяйственной деятельности организации [3, с. 128].

Понятие «ресурсный потенциал» довольно широко применяется в научной литературе и в практической деятельности, однако содержание данной дефиниции в различных источниках интерпретируется по-разному. Следует отметить, что в теоретическом и практическом аспектах категория ресурсный потенциал на уровне организации изучена недостаточно, хотя в научной литературе на макроуровне обсуждается довольно широко.

В настоящее время нет четкого определения ресурсного потенциала сельскохозяйствен-

ной организации. Различные ученые и авторы по-разному трактуют данное понятие. Однако все они объединены общим смыслом, под которым понимается совокупность различных видов ресурсов, определяющая экономическое развитие организации исследуемого сектора в долгосрочной перспективе.

Основные подходы к определению сущности категории «ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации» представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Экономическая сущность категории «ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации» по мнению различных авторов

Автор	Определение
Волкова Е. В. [4, с. 19]	Под ресурсным потенциалом организаций агропромышленного комплекса понимаем совокупность максимальных возможностей предприятий, обусловленную имеющимися трудовыми ресурсами, основными и оборотными средствами при соответствующих технологиях для эффективного производства продукции (работ, услуг) с целью удовлетворения платежеспособного спроса потребителей
Галкина М. Н., Звонко А. [5, с. 92]	Ресурсный потенциал рассматривается как множественная характеристика наличия производственных, инновационных, финансовых ресурсов, а также резервов и возможностей по мобилизации этих ресурсов, которыми можно воспользоваться для обеспечения устойчивого роста организации в будущем
Понуровская В. С., Быкова Е. Ю. [6, с. 235]	Ресурсный потенциал сельскохозяйственного предприятия – это совокупность земельных, трудовых и материальных ресурсов, находящихся в его распоряжении; таким образом, он определяется количеством, качеством и внутренней структурой каждого ресурса в отдельности. По сути, ресурсный потенциал представляет собой обобщающий показатель ресурсообеспеченности предприятия и его расчет сводится к определению суммарной оценки всех ресурсов
Потапов А. П. [7, с. 24]	Ресурсы представляют собой средства, запасы, ценности, резервы, которые могут быть вовлечены в хозяйственный оборот для достижения конкретных целей экономического и социального развития. На уровне сельскохозяйственной организации ресурсный потенциал характеризуется включением в его состав земельных, трудовых и материально-технических ресурсов
Федоров М. Н., Волков А. Б. [8, с. 122]	Ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации представляет собой открытую производственную систему, в которой фактор предпринимательство, ориентируясь на сложившуюся рыночную конъюнктуру и с учетом современного уровня производственных отношений, объединяет в оптимальном сочетании в организацию соответствующей организационно-правовой формы и приводит в действие технологически зависимые ресурсы сельскохозяйственного производства – труд, землю, капитал, с целью повышения эффективности использования и обеспечения расширенного воспроизводства
Эпштейн Д., Хокман Г. [9, с. 57]	Ресурсный потенциал аграрной сферы как совокупность ресурсных потенциалов сельскохозяйственных предприятий, характеризующихся показателями среднегодовой численности занятых, посевных площадей и площадей сельскохозяйственных угодий, численностью голов сельскохозяйственных животных, стоимостью основных производственных фондов и стоимостью оборотных фондов

Источник: составлено авторами на основе [4–9].

Основываясь на теоретических взглядах ученых-экономистов, ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций можно охарактеризовать как обобщающий показатель ресурсообеспеченности сельского хозяйства, выраженный параметрами наличия различных ресурсов (производственных, информационных, инновационных, финансовых, земельных, трудовых), эффективность использования которых происходит не в форме суммарного наличия, а посредством их сложного взаимодействия при определенном структурном соотношении.

Сущность изучаемого понятия позволяет говорить о ресурсном потенциале организации как об одном из ведущих факторов его развития. При этом следует отметить, что не только материальные, но и нематериальные ресурсы определяют возможности сельскохозяйственной организации и оказывают существенное влияние на эффективность ее функционирования. Именно к последним можно отнести кадровое обеспечение организаций – производителей сельскохозяйственной продукции.

Следует отметить, что на сегодняшний день не существует в достаточной мере разработанного методического инструментария, а также единой системы показателей, учитывающих уровень наличия и степень эффективности использования ресурсного потенциала, общепринятого методологического подхода к его оценке. Выбор метода зависит от целей и задач исследования, уровня, на котором производится анализ и оценка, подхода к пониманию сущности и содержания формирования, развития и воспроизводства ресурсного потенциала.

В настоящее время не сформировано четкого и однозначного представления и о структуре ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций. Это обусловлено тем, что внимание ученых направлено на определение проявления составляющих потенциала, методологию и инструментарий оценки влияния на общие результаты деятельности предприятия на рынке, а эффект от использования такого влияния совокупного потенциала исследован недостаточно [10, с. 77].

Характеризуя ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации и каждого его структурного элемента, следует обратить внима-

ние на специфические особенности сельскохозяйственного производства, обуславливающие порядок формирования и эффективное использование имеющихся в организации ресурсов.

Характеризуя ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций, ученые останавливаются на оценке следующих структурных элементов (природно-ресурсный, инновационный, трудовой, материально-технический, финансовый). Однако в условиях изменяющейся внешней среды и цифровой трансформации различных отраслей экономики Республики Беларусь авторами статьи предлагается дополнить классический набор элементов ресурсного потенциала такими составляющими, как информационный и инвестиционный потенциалы (рисунок 1).

Таким образом, предлагается авторское определение исследуемой дефиниции. Под «ресурсным потенциалом сельскохозяйственной организации» понимается совокупность материально-технических, природно-ресурсных, финансовых, информационных, инновационных, трудовых и инвестиционных ресурсов и их резервов, которые обладают определенными качественными и количественными характеристиками, возможностями мобилизации для достижения поставленных целей организации.

Предложенные виды потенциалов играют важную роль в социально-экономическом развитии не только сельскохозяйственной отрасли, но и страны в целом. Подробная характеристика всех структурных элементов ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций по авторскому подходу будет рассмотрена в дальнейших исследованиях.

В формировании устойчивости ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации определяющую роль играет политика государства. Повышение экономической эффективности потенциала предприятия требует его структуризации, установления функций и связей. На данном этапе ресурсный потенциал предприятий АПК характеризуется объемом произведенной продукции, размером, составом и структурой основных и оборотных средств, их качественной характеристикой, которыми владеют и распоряжаются предприятия для достижения своих целей. Проблемной ситуацией в ресурсной системе сельскохозяйственной организации, так и

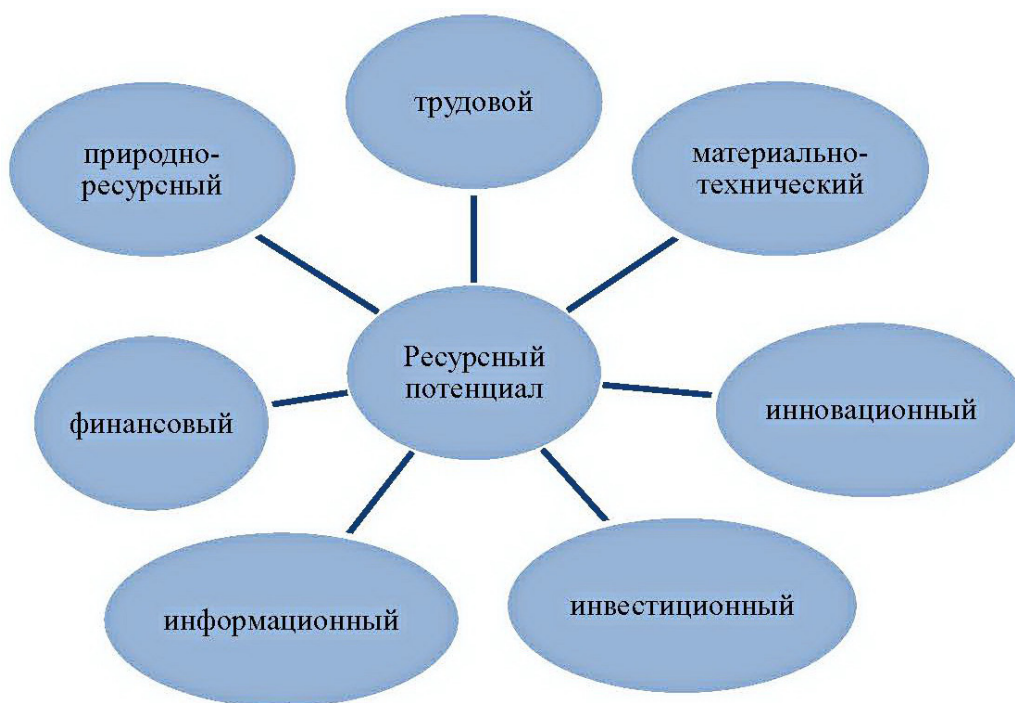


Рисунок 1 – Структурные элементы ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации

Источник: составлено авторами.

в целом сельскохозяйственном секторе является дефицит и неэффективное использование ресурсов. Следовательно, целью ресурсной системы сельского хозяйства является привлечение и рациональное использование ресурсов.

Государственная политика Республики Беларусь формируется в соответствии с развитием приоритетных направлений на основе Концепции национальной безопасности и Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития.

Устойчивое развитие сельского хозяйства Республики Беларусь находится в постоянной зависимости от государственной поддержки, которая проявляется в решении ряда взаимосвязанных задач, в числе которых и развитие технической базы сельскохозяйственных организаций. В Государственной программе «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг. (утверждена Постановлением Совета Министров Республики Бела-

русь от 2 февраля 2021 г. № 66), в рамках Декрета Президента Республики Беларусь от 21 декабря 2017 г. № 8 «О развитии цифровой экономики», Указе Главы государства от 7 мая 2020 г. № 156 «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 годы» отмечено, что технико-технологическое перевооружение сельского хозяйства цифровыми технологиями является одной из основных задач по созданию в агропромышленном комплексе высокопроизводительного экспортно-ориентированного производства.

Важнейшим звеном новой парадигмы национальной экономики в Концепции Национальной стратегии инновационного развития Республики Беларусь на период до 2035 года определена цифровая трансформация, основанная на высокотехнологичных бизнес-проектах. Таким образом, ключевым аспектом повышения эффективности использования ресурсного потенциала

аграрной отрасли Республики Беларусь должна стать цифровизация, включающая в себя изменения и проблемы, связанные с применением инновационных технологий и их интеграцией во все сферы исследуемого сектора [11, с. 144].

Оценка отдельных элементов ресурсного потенциала сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь

Ресурсный потенциал сельскохозяйственных организаций характеризуется сложной системой показателей, находящихся во взаимосвязи и взаимозависимости. Рассмотрим некоторые из них. Важное значение в формировании и развитии ресурсного потенциала организаций сельского хозяйства занимают инвестиции. Анализ основных экономических показателей инвестиционного потенциала представлен в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что в анализируемом периоде наблюдается рост инвестиций в сельскохозяйственную отрасль Республики Беларусь. Данный показатель увеличился с 2178,5 млн руб. до 3601,4 млн руб. Коэффициент обновления основных средств в сельскохозяйственных организациях показал рост за 5 лет всего на 0,7. С 2020 года наблюдается снижение данного показателя. Если сравнивать данный целевой индикатор с другой отраслью, например, организациями промышленности, то следует отметить, что в

2021 году данный показатель выше в промышленной сфере. Коэффициент обновления основных средств организаций промышленности в 2021 году составил 9,7, а в сельскохозяйственных организациях – 7,6. Необходимо отметить, что вложение инноваций в устаревшие средства производства и технологии будет иметь отрицательный результат, а неэффективное использование инвестиций, в свою очередь, влечет за собой нерациональное применение ресурсного потенциала и сокращение объемов производимой сельскохозяйственной продукции. Как следствие, эффективная научная и инновационно-инвестиционная деятельность является необходимым условием стабильного и конкурентоспособного функционирования сельскохозяйственного сектора цифровой экономики. Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что инвестиционный потенциал сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь растет.

Рост технической оснащенности сельскохозяйственного производства, увеличение требований к качеству товарной экопродукции требуют высокого уровня развития и конкурентного преимущества трудового потенциала аграрной отрасли. Повышение уровня накопления и эффективности использования трудового потен-

Таблица 2 – Динамика показателей инвестиционного потенциала сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь за 2017–2021 гг.

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Инвестиции в основной капитал – всего, млн руб.	21033,7	25004,4	28798,9	29633,4	30126,8
В том числе в сельское хозяйство, млн руб.	2178,5	2453,3	3030,4	3468,3	3601,4
Доля инвестиций, направляемых на развитие сельского хозяйства, %	10,4	9,8	10,5	11,7	11,9
Коэффициент обновления основных средств в сельскохозяйственных организациях	6,9	7,1	7,5	8,2	7,6
Коэффициент обновления основных средств организаций промышленности	5,6	5,2	4,6	6,8	9,7
Индекс ориентированности на сельское хозяйство, определяемый по структуре государственных расходов (ЦУР 2.а.1)	0,8	0,8	0,9	0,7	1,0

Источник: составлено авторами на основе [12].

циала особенно актуально в условиях количественного сокращения трудовых ресурсов на рынке аграрного сектора. Формирование трудового капитала сельскохозяйственных организаций базируется на демографических и социально-экономических процессах, протекающих преимущественно в сельской местности. Сокращение сельского населения негативно влияет на обеспеченность кадрами сельскохозяйственных организаций. Снижение численности трудовых ресурсов совпадает с тенденциями изменения структуры занятости в развитых странах и связано, прежде всего, с ростом оснащенности сельского хозяйства техническими ресурсами. Тенденция сокращения численности сельского населения сохраняется уже на протяжении нескольких лет: продолжают процессы урбанизации населения, начавшиеся активно в конце XX в. Так, в Беларуси в 1990 г. в сельскохо-

зяйственных организациях было занято 17,8 % от всех занятых в экономике, а в 2021 г. – 7,1 % (таблица 3).

Показатели, характеризующие динамику вовлеченности населения в трудовую деятельность, находятся в непосредственной взаимосвязи: прослеживается четко выраженный тренд сокращения численности сельского населения, снижение удельного веса численности работников, занятых в сельском хозяйстве к общей численности населения (с 17,8 % до 7,1 %). Все это оказывает негативное воздействие на формирование, обеспеченность и использование трудовых ресурсов сельскохозяйственными организациями, а также ограничение роста интеллектуального капитала. Реализация масштабных задач и эффективного использования трудовых ресурсов требует первоочередного совершенствования трудового потенциала, как необ-

Таблица 3 – Динамика основных экономических показателей трудового потенциала сельскохозяйственной отрасли Республики Беларусь за 2017–2021 гг.

Показатель	2017	2018	2019	2020	2021
Численность сельского населения, человек	2164033	2137548	2106354	2069325	2023429
Удельный вес сельского населения в общей численности населения, %	22,9	22,7	22,4	22,1	21,9
Списочная численность работников, занятых в сельском хозяйстве, в среднем за год, тыс. человек	293,6	284,6	273,2	267,4	259,4
Удельный вес численности работников, занятых в сельском хозяйстве к общей численности населения, %	7,8	7,6	7,3	7,2	7,1
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников по стране, руб.	822,8	971,4	1092,9	1254,6	1443,5
Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников, занятых в сельском хозяйстве, руб.	564,0	651,5	755,3	880,4	1 002,1
Коэффициент отставания от среднемесячной заработной платы работников по стране	0,69	0,67	0,69	0,7	0,69
Реальная заработная плата по республике, в процентах к предыдущему году	107,5	112,6	106,5	108,8	105,1
Реальная заработная плата работников, занятых в сельском хозяйстве, в процентах к предыдущему году	107,9	110,1	109,8	110,5	103,9

Источник: составлено авторами на основе [12].

ходимого условия сопровождения процессов инновационного развития организаций агропромышленного сектора.

Формирование и развитие трудового потенциала невозможно без улучшения существенных условий работы, разработки эффективной системы материального и морального стимулирования. В противном случае, сельское хозяйство будет оставаться одной из самых проблемных отраслей реального сектора экономики, несмотря на его несомненную важность и значимость при обеспечении продовольственной безопасности и независимости страны [13, с. 65].

Эффективная научная и инновационно-исследовательская деятельность является необходимым условием устойчивого и конкурентоспособного функционирования агропромышленного сектора экономики в современных условиях. Динамика экономических показателей научной деятельности представлена в таблице 4.

Научные разработки обеспечивают создание новых технологических продуктов, устройств, процессов, систем и методов, а также их совершенствование. Прослеживается тенденция увеличения вложений в научные исследования сельскохозяйственного сектора за 4 года на 0,9 %, однако удельный вес к общему объему затрат небольшой. В анализируемом периоде наблюдается незначительное увеличение удельного веса экспериментальных разработок к об-

щему объему затрат. Так, за 4 года данный показатель увеличился всего лишь на 0,1 п.п. Все это свидетельствует о низком уровне финансирования инновационных проектов; государственной поддержки исследований и инновационной деятельности; инновационной активности организаций и экономических эффектов от инновационной деятельности.

Заключение

Таким образом, можно сделать следующие выводы. Под «ресурсным потенциалом сельскохозяйственной организации» понимается совокупность материально-технических, природно-ресурсных, финансовых, информационных, инновационных, трудовых инвестиционных ресурсов и их резервов, которые обладают определенными качественными и количественными характеристиками, возможностями мобилизации для достижения поставленных целей организации. Трудовой потенциал выступает как основной генератор реализации ресурсного потенциала сельскохозяйственной организации.

Среди наиболее важных направлений развития ресурсного потенциала в организациях сельскохозяйственного сектора должны стать следующие:

- обеспечение реального роста заработной платы, повышающего привлекательность занятости в сельскохозяйственной отрасли;
- эффективное использование инвестици-

Таблица 4 – Динамика затрат на научные исследования по областям науки Республики Беларусь за 2018–2021 гг.

Показатели	2018	2019	2020	2021
Фундаментальные исследования – всего, тыс. руб.	83822	97113	108926	117361
в том числе в сельскохозяйственные науки, тыс. руб.	7751	9502	9337	11806
Удельный вес к общему объему затрат, %	9,2	9,8	8,6	10,1
Прикладные научные исследования – всего, тыс. руб.	188620	186561	230050	232825
в том числе в сельскохозяйственные науки, тыс. руб.	22255	24031	25188	26901
Удельный вес к общему объему затрат, %	11,8	12,9	11,0	11,6
Экспериментальные разработки – всего, тыс. руб.	416422	420036	398587	398037
в том числе в сельскохозяйственные науки, тыс. руб.	2028	2039	2218	2200
Удельный вес к общему объему затрат, %	0,5	0,5	0,6	0,6

Источник: составлено авторами по данным [12].

онного потенциала и ресурсов;

- трансформация неэффективных организаций сельского хозяйства в новые рыночные структуры;

- стимулирование сотрудников сельскохозяйственных организаций;

- оптимизация рынков сбыта (региональное распределение зон покупателей);

- обновление кадрового состава организации, повышение квалификации с учетом специфики деятельности;

- необходимость адаптации зарубежных передовых технологий;

- использование современных IT-технологий.

Реализация приоритетных направлений позволит сконцентрировать вектор на наиболее перспективных и значимых для использования ресурсного потенциала сельскохозяйственного сектора экономики аспектах, эффективно координировать исследования, разработки и практическое использование результатов научно-технической деятельности для устойчивого развития регионов.

Несмотря на то, что сельское хозяйство не самая инновационная отрасль, один из главных трендов на ближайшие годы – цифровая трансформация агропромышленного сектора и пла-

нируемый технологический прорыв. Внедрение инновационных технологий при развитии ресурсной системы организаций исследуемой сферы позволит сократить издержки, снизить риски производства, а также повысить производительность труда в сельском хозяйстве Республики Беларусь.

Практическая значимость развития и эффективного использования ресурсного потенциала сельскохозяйственных организаций заключается в увеличении доходов от экономической деятельности, улучшении качества жизни и возможностей самореализации граждан в сельской местности посредством кооперации бизнеса, власти и науки. Создание устойчивой ресурсной системы сельскохозяйственного сектора экономики Республики Беларусь позволит повысить конкурентоспособность регионов для инвесторов посредством фокусировки на актуальных сферах каждого региона.

Статья подготовлена по материалам доклада 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 19 апреля 2023 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Национальный правовой интернет-портал Республики Беларусь (2023), режим доступа: <http://pravo.by> (дата доступа 15.06.2023).
2. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, режим доступа: <https://economy.gov.by> (дата доступа 15.06.2023).
3. Давыдкина, О. А. (2014), Методический инструментарий оценки аграрного ресурсного потенциала региона, *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2014, № 7-1, С. 127–129.

REFERENCES

1. National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus (2023) [Nacional'nyj pravovoj internet-portal Respubliki Belarus'], available at: <http://pravo.by> (accessed 15 June 2023).
2. National Strategy for Sustainable Socio-Economic Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035 [Nacional'naya strategiya ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' do 2035 goda], available at: <http://economy.gov.by> (accessed 15 June 2023).
3. Davydkina, O. A. (2014), Methodological tools for assessing the agrarian resource potential of the region [Metodicheskij instrumentarij

4. Волкова, Е. В. (2019), Ресурсный потенциал перерабатывающих организаций АПК и пути его улучшения, Проблемы экономики, *Сборник научных трудов*, Горки, 2019, № 2(29), С. 13–20.
5. Галкина, М. Н., Звонко, А. (2022), Особенности трансформации сельского хозяйства в условиях цифровизации экономики, *Молодежь и наука в условиях цифровой трансформации общества, Материалы I Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых*, Минск, 2022, С. 91–94.
6. Понуровская, В. С., Быкова, Е. Ю. (2019), Формирование и развитие ресурсного потенциала организаций АПК, Рыночная экономика: сегодня и завтра, *Тезисы VIII Международной научной студенческой конференции*, Минск, 2019, С. 234–327.
7. Потапов, А. П. (2012), Ресурсный потенциал аграрного производства России: проблемы формирования и перспективы использования: монография, Саратов, 2012, 152 с.
8. Федоров, М. Н., Волков, А. Б. (2016), Ресурсный потенциал сельскохозяйственной организации как система, Евразийский Союз Ученых (ЕСУ), *Экономические науки*, № 3(24), 2016, С. 119–122.
9. Эпштейн, Д., Хокман Г. (2008), Ресурсный потенциал и эффективность сельхозпредприятий АПК, *Экономика, управление*, 2008, № 1, С. 57–61.
10. Кабаненко, М. Н., Колычева, Ж. Я., Мурадова, С. Ш. (2021), Особенности формирования экономического потенциала сельскохозяйственных предприятий, *Креативная экономика*, 2021, Том 15, № 1, С. 75–92.
11. Советникова, О. П., Петрова, А. В. (2023), Особенности инновационного развития и интеграции агробизнеса в условиях цифровой трансформации, *Цифровая трансформация – шаг в будущее, Материалы III Международной оценок аграрного ресурсного потенциала региона*, *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk – Actual problems of humanities and natural sciences*, 2014, № 7-1, PP. 127–129.
4. Volkova, E. V. (2019), Resource potential of agro-industrial processing organizations and ways to improve it [Resursnyj potencial pere-rabatyvayushchih organizacij APK i puti ego uluchsheniya], Problems of economics, *Sbornik nauchnykh trudov – Collection of scientific papers*, Gorki, 2019, № 2(29), PP. 13–20.
5. Galkina, M. N., Zvonko, A. (2022), Features of transformation of agriculture in the conditions of digitalization of the economy [Osobennosti transformacii sel'skogo hozyajstva v usloviyah cifrovizacii ekonomiki], Youth and science in the conditions of digital transformation of society, *Materials of the I International Scientific Conference of students, postgraduates and young scientists*, Minsk, 2022, PP. 91–94.
6. Ponurovskaya, V. S., Bykova, E. Yu. (2019), Formation and development of the resource potential of agricultural organizations [Formirovanie i razvitie resursnogo potenciala organizacij APK], Market economy: today and tomorrow, *Abstracts of the VIII International Scientific Student Conference*, Minsk, 2019, PP. 234–327.
7. Potapov, A. P. (2016), Resource potential of agricultural production in Russia: problems of formation and prospects of use [Resursnyj potencial agrarnogo proizvodstva Rossii: problemy formirovaniya i perspektivy ispol'zovaniya], Monograph, Saratov, 2012, 152 p.
8. Fedorov, M. N., Volkov, A. B. (2016), Resource potential of an agricultural organization as a system [Resursnyj potencial sel'skoho-zyajstvennoj organizacii kak sistema], Eurasian Union of Scientists (ESU), *Ehkonomicheskie nauki – Economic Sciences*, № 3(24), 2016, PP. 119–122.

- научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Минск, 2023, С. 143–145.
12. Официальный интернет-портал Национального статистического комитета Республики Беларусь (2023), режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/vneshnyaya-torgovlya> (дата доступа 15.06.2023).
 13. Гридюшко, А. Н., Грибов, А. В. (2020), Проблемные аспекты эффективного использования ресурсного потенциала аграрной отрасли, *Вестник БСХА*, 2020, № 3, С. 61–66.
 9. Epstein, D., Hokman, G. (2008), Resource potential and efficiency of agricultural enterprises [Resursnyj potencial i effektivnost' sel'hozpredpriyatij APK], *Ekonomika, upravleniye – Economics, management*, 2008, № 1, PP. 57–61.
 10. Kabanenko, M. N., Kolycheva, Zh. Ya., Muradova, S. Sh. (2021), Features of the formation of the economic potential of agricultural enterprises [Osobennosti formirovaniya ekonomicheskogo potenciala sel'skohozyajstvennyh predpriyatij], *Kreativnaya ekonomika – Creative economy*, 2021, Volume 15, № 1, PP. 75–92.
 11. Sovetnikova, O. P., Petrova, A. V. (2023), Features of innovative development and integration of agribusiness in the context of digital transformation [Osobennosti innovacionnogo razvitiya i integracii agrobiznesa v usloviyah cifrovoj transformacii], Digital transformation is a step into the future, *Materials of the III International Scientific and Practical Conference of Students, postgraduates and Young Scientists*, Minsk, 2023, PP. 143–145.
 12. The official Internet portal of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus (2023) [Oficial'nyj internet-portal Nacional'nogo statisticheskogo komiteta Respubliki Belarus'], available at: <https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/realny-sector-ekonomiki/vneshnyaya-torgovlya> (accessed 15 June 2023).
 13. Gridyushko, A. N., Gribov, A. V. (2020), Problematic aspects of the effective use of the resource potential of the agricultural industry [Problemnye aspekty effektivnogo ispol'zovaniya resursnogo potenciala agrarnoj otrasli], *Vestnik BGSHA – Bulletin of the BSAA*, 2020, № 3, PP. 61–66.

Статья поступила в редакцию 18.08.2023 г.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Буркин Александр Николаевич	– доктор технических наук, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Ванкевич Елена Васильевна	– доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе, Витебский государственный технологический университет
Гречаников Александр Викторович	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Дунина Елена Брониславовна	– кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Информационные системы и технологии», Витебский государственный технологический университет
Золотарева Ольга Александровна	– доктор экономических наук, профессор, проректор по учебной работе, Полесский государственный университет
Зотов Сергей Валентинович	– кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела № 1 «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого
Ивашко Екатерина Игоревна	– магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», ведущий инженер отдела «Испытательный центр», Витебский государственный технологический университет
Калиновская Ирина Николаевна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет
Касаева Тамара Васильевна	– кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет
Корниенко Алексей Александрович	– доктор физико-математических наук, профессор кафедры «Информационные системы и технологии», Витебский государственный технологический университет
Марченко Вероника Григорьевна	– аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет

Масалова Ксения Олеговна	– студент, Витебский государственный технологический университет
Мирончик Владислав Вячеславович	– магистр экономических наук, ассистент кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет
Мойсейчик Анна Юрьевна	– студент, Витебский государственный технологический университет
Панкевич Дарья Константиновна	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет
Петрова Анастасия Вячеславовна	– аспирант, ассистент кафедры «Маркетинг и финансы», Витебский государственный технологический университет
Полушина Анастасия Александровна	– студент, Витебский государственный технологический университет
Радюк Анастасия Николаевна	– кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Рыклин Дмитрий Борисович	– доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Сергеев Вячеслав Юрьевич	– старший преподаватель кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Сидская Ольга Владимировна	– старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и интеллектуальные системы», Полесский государственный университет
Советникова Ольга Петровна	– кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой «Маркетинг и финансы», Витебский государственный технологический университет
Соколова Анна Сергеевна	– магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Информационные системы и технологии», Витебский государственный технологический университет

Тимонов Иван Афанасьевич	– кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Тимофеенко Алёна Александровна	– научный сотрудник отдела № 1 «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого
Шаповалов Виктор Михайлович	– доктор технических наук, профессор, заведующий отделом № 1 «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Burkin Alexander	– Doctor of Science (in Engineering), Professor of the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Dunina Elena	– Candidate of Sciences (in Physics and Mathematics), Associate Professor at the Department “Information Systems and Technologies”, Vitebsk State Technological University
Hrachanikau Aliaksandr	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Ivashko Katsiaryna	– Master of Technical Sciences, Postgraduate student of the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Lead Engineer of Testing Center Department, Vitebsk State Technological University
Kalinouskaya Iryna	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Economics and Electronic Business”, Vitebsk State Technological University
Kasayeva Tamara	– Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department “Economics and Electronic Business”, Vitebsk State Technological University
Kornienko Alexey	– Doctor of Science (in Physics and Mathematics), Professor of the Department “Information Systems and Technologies”, Vitebsk State Technological University
Marchenko Veronika	– Postgraduate Student of the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Masalova Ksenia	– Student, Vitebsk State Technological University
Mironchik Vladislav	– Master of Economic Sciences, Assistant of the Department “Economics and Electronic Business”, Vitebsk State Technological University
Moiseichik Anna	– Student, Vitebsk State Technological University
Pankevich Darya	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Clothing and Footwear Design and Technology”, Vitebsk State Technological University

Petrova Anastasiya	– Postgraduate Student, Assistant at the Department “Marketing and Finance”, Vitebsk State Technological University
Polushina Anastasia	– Student, Vitebsk State Technological University
Radyuk Anastasia	– Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Lecturer at the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Ryklin Dzmitry	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Technical Regulation and Commodity Science”, Vitebsk State Technological University
Sergeyev Vyacheslav	– Senior Lecturer at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Shapovalov Victor	– Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Composite Materials and Polymer Recycling”, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute
Sidskaya Olga	– Senior Lecturer at the Department “Information Technology and Intelligent Systems”, Polesky State University
Sokalava Hanna	– Master of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department “Information Systems and Technologies”, Vitebsk State Technological University
Sovetnikova Olga	– Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor, Chair of the Department “Marketing and Finance”, Vitebsk State Technological University
Timofeenko Aliona	– Researcher at the Department “Composite Materials and Polymer Recycling”, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute
Tsimanov Ivan	– Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department “Ecology and Chemical Technologies”, Vitebsk State Technological University
Vankevich Alena	– Doctor of Science (in Economics), Professor, Vice-Rector for Science and Research, Vitebsk State Technological University

Zolotareva Olga	– Doctor of Science (in Economics), Professor, Vice-Rector for Academic Affairs, Polesky State University
Zotov Sergey	– Candidate of Sciences (in Engineering), Leading Researcher at the Department “Composite Materials and Polymer Recycling”, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute

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 primenением 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), Технично-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 страницы (верхнее, нижнее, левое, правое) – 20 мм 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 редакторе формул, совместимым с Microsoft Word, полужирным

курсивом;

- 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. Заливка не используется;

- иллюстрации располагаются после первого упоминания о них в тексте. Каждая иллюстрация должна иметь подписную надпись (Times New Roman, 11 пт). Графики и диаграммы представляются как рисунки, выполняются в графическом редакторе, совместимым с Microsoft Word. Фотографии должны иметь контрастное черно-белое изображение;

- иллюстрации, графики, диаграммы, фотографии должны быть сохранены на электронном носителе каждый отдельным файлом в стандартах растровой графики и следующим форматом: JPEG; RAW; TIFF; BMP; PSD; PCX; PNG, разрешением не менее 300 dpi;

- 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 реше-

ние 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**

№ 2 (45)

Дизайн и вёрстка издания **Погорельская С.И.**

Редактор издания **Пухальская А.В.**

Дизайн обложки **Григорьева Н.В.**

Подписано в печать 08.11.2023. Печать цифровая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 18,8.
Уч.-изд. листов 14,9. Формат 60х90 ¹/₈. Тираж 100 экз. Заказ № 427.

Свёрстано и подготовлено к печати издательским
сектором 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.
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 года.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 1235 от 8 февраля 2010 г.