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

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
‹‹ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ››

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (56)

ВИТЕБСК 2026

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

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

BULLETIN

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 2 (56)

VITEBSK 2026

УДК 67/68
ББК 37.2
В 38

Вестник Витебского государственного технологического университета. № 2 (56). УО ‹‹ВГТУ››

Редакционная коллегия:

Главный редактор – Кузнецов Андрей Александрович, д-р техн. наук, профессор
Заместитель главного редактора – Ванкевич Елена Васильевна, д-р экон. наук, профессор
Ответственный секретарь – Рыклин Дмитрий Борисович, д-р техн. наук, профессор

Члены редакционной коллегии

Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

- Редактор – Буркин А.Н., д-р техн. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Рубаник В.В., д-р техн. наук, профессор, член-корреспондент НАН Беларуси (ИТА НАН Беларуси, Республика Беларусь)
- Абрамович Н.А., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Башметов В.С., д-р техн. наук, профессор (Республика Беларусь)
- Гусаров А.М., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Дунина Е.Б., канд. физ.-мат. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Казарновская Г.В., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Киосев Й., д-р техн. наук, профессор (Дрезденский технический университет, Германия)
- Кирсанова Е.А., д-р техн. наук, профессор (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- Коган А.Г., д-р техн. наук, профессор (Республика Беларусь)
- Корнилова Н.Л., д-р техн. наук, доцент (ИвГПУ, Российская Федерация)
- Милашиус Р., д-р техн. наук, профессор (Каунасский технологический университет, Литва)
- Ольшанский В.И., канд. техн. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Панкевич Д.К., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Разумеев К.Э., д-р техн. наук, профессор (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- Садовский В.В., д-р техн. наук, профессор (БГЭУ, Республика Беларусь)
- Ташпулатов С.Ш., д-р техн. наук, профессор (Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан)
- Шустов Ю.С., д-р техн. наук, профессор (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)

Химическая технология

- Редактор – Ясинская Н.Н., д-р техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Дормешкин О.Б., д-р техн. наук, профессор (БГТУ, Республика Беларусь)
- Дутчик В., научный сотрудник (Институт по исследованию полимеров, Германия)
- Корниенко А.А., д-р физ.-мат. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Скобова Н.В., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Стёпин С.Г., канд. хим. наук, доцент (ВГМУ, Республика Беларусь)
- Труханов А.В., д-р физ.-мат. наук, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Республики Беларусь (НАН Беларуси, Республика Беларусь)
- Шут В.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Щербина Л.А., канд. техн. наук, доцент (БГУТ, Республика Беларусь)

Экономика

- Редактор – Яшева Г.А., д-р экон. наук, профессор (Республика Беларусь)
- Касаева Т.В., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Богдан Н.И., д-р экон. наук, профессор (БГЭУ, Республика Беларусь)
- Быков А.А., д-р экон. наук, профессор (БГЭУ, Республика Беларусь)
- Варшавская Е.Я., д-р экон. наук, профессор (НИУ «Высшая школа экономики», Российская Федерация)
- Зайцева О.В., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Коробова Е.Н., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Меньшиков В.В., д-р социол. наук, профессор (Даугавпилсский университет, Латвия)
- Нехорошева Л.Н., д-р экон. наук, профессор (БГЭУ, Республика Беларусь)
- Плахин А.Е., д-р экон. наук, доцент (УрГЭУ, Российская Федерация)
- Советникова О.П., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Шматко А.Д., д-р экон. наук, профессор (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), 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/

©УО ‹‹Витебский государственный технологический университет››, 2026

UDC 67/68
BBK 37.2
B 38

Bulletin of Vitebsk State Technological University. № 2 (56). EI "VSTU"

Editorial Board:

Editor-in-Chief Andrei A. Kuzniatsou, Dr. Sc. (Eng), Professor
Deputy Editor-in-Chief Alena V. Vankevich, Dr. Sc. (Econ), Professor
Executive secretary Dzmitry B. Ryklin, Dr. Sc. (Eng), Professor

Thematic Editors

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

- Editor Alexander N. Burkin, Dr. Sc. (Eng), Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Vasili V. Rubanik, Dr. Sc. (Eng), Professor, Corresponding Member of the NAS of Belarus (Institute of Technical Acoustics of Belarus NAS, Republic of Belarus)
- Natallia A. Abramovich, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Valery S. Bashmetau, Dr. Sc. (Eng), Professor (Republic of Belarus)
- Aliaksei M. Husarau, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Elena B. Dunina, Cand. Sc. (Phys.-Mat), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Galina V. Kazarnovskaya, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Yordan Kyosev, Dr. Sc. (Eng), Professor (Hochschule Niederrhein, Germany)
- Elena A. Kirsanova, Dr. Sc. (Eng), Professor (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Aleksander G. Kogan, Dr. Sc. (Eng), Professor (Republic of Belarus)
- Nadezhda L. Kornilova, Dr. Sc. (Eng), Associate Professor (Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation)
- Rimvydas Milašius, Dr. Sc. (Eng), Professor (Kaunas University of Technology, Lithuania)
- Valery I. Alshanski, Cand. Sc. (Eng), Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Darya K. Pankevich, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Konstantin E. Razumeev, Dr. Sc. (Eng), Professor (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Victor V. Sadovski, Dr. Sc. (Eng), Professor (BSEU, Republic of Belarus)
- Salikh S. Tashpulatov, Dr. Sc. (Eng), Professor (Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan)
- Yuriy S. Shustov, Dr. Sc. (Eng), Professor (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)

Chemical Engineering

- Editor Natallia N. Yasinskaya, Dr. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Oleg B. Dormeshkin, Dr. Sc. (Eng), Professor (BSTU, Republic of Belarus)
- Victoria Dutschk, Researcher (The Institute of Polymer Research, Dresden, Germany)
- Alexey A. Kornienko, Dr. Sc. (Phys.-Mat), Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Natallia V. Skobova, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Svjatoslav G. Stepin, Cand. Sc. (Chem), Associate Professor (VSMU, Republic of Belarus
- Aleksey V. Trukhanov, Dr. Sc. (Phys.-Mat), Deputy Chairman of the Presidium of the NAS of Belarus (NAS of Belarus, Republic of Belarus)
- Victor N. Shut, Dr. Sc. (Phys.-Mat), Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Leonid A. Shcherbina, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (BSUFT, Republic of Belarus)

Economics

- Editor Galina A. Yasheva, Dr. Sc. (Econ), Professor (Republic of Belarus)
- Tamara V. Kasayeva, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Nina I. Bohdan, Dr. Sc. (Econ), Professor (BSEU, Republic of Belarus)
- Aliaksei A. Bykau, Dr. Sc. (Econ), Professor (BSEU, Republic of Belarus)
- Elena Ya. Varshavskaya, Dr. Sc. (Econ), Professor (National Research University "Higher School of Economics", Russian Federation)
- Olga V. Zaitseva, Cand. Sc. (Econ), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Alena N. Korabava, Cand. Sc. (Econ), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Vladimir V. Menshikov, Dr. Sc. (Soc), Professor (Daugavpils University, Latvia)
- Lyudmila N. Nekhorosheva, Dr. Sc. (Econ), Professor (BSEU, Republic of Belarus)
- Andrey E. Plakhin, Dr. Sc. (Econ), Associate Professor (Ural State Economic University, Russian Federation)
- Olga P. Sovetnikova, Cand. Sc. (Econ), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Alexey D. Shmatko, Dr. Sc. (Econ), Professor (Institute for Regional Economic Studies RAS, Russian Federation)

The journal is registered in the Belarus Higher Attestation Commission Catalogue of 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), 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

Шаповалов В. М., Винидиктова Н. С.
Особенности формирования композитов на основе термопластичных полимеров и лигноцеллюлозного наполнителя 7

Карнилов М. С., Рыклин Д. Б., Меламед В. Д., Демидова М. А.
Разработка ранозаживляющего сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием ... 20

Нейфельд М. А., Феоктистова А. Ю., Буркин А. Н.
Критерии оценки качества подошв из термоэластопластов 33

Химическая технология

Скобова Н. В., Кириллова М. Д., Шитикова А. А.
Оценка экологической токсичности водных растворов натуральных красителей, применяемых в технологии крашения текстильных материалов 43

Амирова Н. С., Назирова Х. Р.
Устойчивая технология крашения натурального шелка природными красителями в условиях зеленой трансформации текстильного производства 52

Экономика

Матюшенко А. Д, Зорина Т. Г.
Теоретико-методологические основы исследования устойчивого развития энергетики .. 64

Ванкевич Е. В., Иванова А. А.
Концептуальный подход к управлению знаниями в современных организациях 79

Касаева Т. В., Конюшко Е. С., Жихар Ю. Ю.
Цифровое развитие и финансовая эффективность бизнеса: взаимосвязь и взаимообусловленность 95

Горовой С. О.
Модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте 110

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА ‹‹ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА›› 125

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 128

CONTENTS

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

Viktor M. Shapovalov, Natalia S. Vinidiktova
Features of composites formation based on thermoplastic polymers and lignocellulose filler 7

Mikhail S. Karnilau, Dzmitry B. Ryklin, Vladimir D. Melamed, Mariya A. Demidova
Development of a wound-healing sorbent material with a nanofiber coating 20

Maria A. Neufeld, Albina Yu. Feoktistova, Alexander N. Burkin
Criteria for assessing the quality of thermoelastoplastic soles 33

Chemical Engineering

Natallia V. Skobova, Margarita D. Kirillova, Anna A. Shitikova
Assessment of the ecotoxicity of aqueous solutions of natural dyes used in textile dyeing technology 43

Nodira S. Amirova, Khilola R. Nazirova
Sustainable technology for natural silk dyeing using natural dyes in the context of the green transformation of textile production 52

Economics

Angelina D. Matsiushenka, Tatsiana G. Zoryna
Theoretical and methodological foundations for the study of sustainable development in the energy sector 64

Alena V. Vankevich, Anna A. Ivanova
Conceptual approach to knowledge management in modern organizations 79

Tamara V. Kasayeva, Yauheniya S. Koniushka, Yulia Yu. Zhikhar
Digital development and financial efficiency of business: interrelation and interdependence ... 95

Stanislav O. Gorovoy
A model for the retention of graduates of higher education institutions at the first workplace 110

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL "BULLETIN OF STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY" 125

PREPARATION OF LINKS TO SOURCES AND A LIST OF REFERENCES 128

УДК 621:678.073:678.046 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-7-19

Особенности формирования композитов на основе термопластичных полимеров и лигноцеллюлозного наполнителя

В. М. Шаповалов,
Н. С. Винидиктова
Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, Республика Беларусь

Аннотация. Создание композиционных материалов на основе полимеров и измельченной древесины определяется удачным сочетанием технологических свойств полимеров со структурно-механическими характеристиками древесины, что позволяет разрабатывать композиционные системы с высокой степенью наполнения. Одновременно решаются экономические и экологические вопросы, так как в качестве наполнителя в большинстве случаев используются мелкодисперсные отходы древесины, не требующие специальной подготовки. В статье полученные результаты послужили научным обоснованием для разработки комплексных мер по рецептурно-технологическому обеспечению в процессах экструзионной переработки структуры и свойств высоконаполненных композитов на основе модифицированных термопластичных полимеров и дисперсных лигноцеллюлозных наполнителей, в том числе, в процессах их биоразложения в эксплуатационных условиях. В настоящее время мировое сообщество также стремится снизить использование полимерных материалов из нефтепродуктов и заменить их на биоразлагаемые. Биоразлагаемые полимеры разрушаются в окружающей среде не только под воздействием внешних физических факторов, но и под действием микроорганизмов. Номенклатура биоразлагаемых полимеров и композиций на их основе довольно обширна, но ввиду их высокой стоимости проблема разработки новых видов остается актуальной.

Ключевые слова: высоконаполненные композиты, термопласты, биоразложение, лигноцеллюлозные наполнители, экструзия древопластиков.

Информация о статье: поступила 9 июня 2026 года.

Features of composites formation based on thermoplastic polymers and lignocellulose filler

Viktor M. Shapovalov,
Natalia S. Vinidiktova
V.A. Bely Institute of Mechanics of Metallopolymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

Abstract. The creation of composite materials based on polymers and shredded wood is determined by the successful combination of the technological properties of polymers with the structural and mechanical characteristics of wood, which allows for the development of composite systems with a high degree of filling. At the same time, economic and environmental issues are addressed, as fine-grained wood waste is used as a filler in most cases and does not require special preparation. In the article, the obtained results served as a scientific basis for the development of comprehensive measures for the formulation and technological support of the structure and properties of highly filled composites based on modified thermoplastic polymers and dispersed lignocellulose fillers in extrusion processing, including their biodegradation under operational conditions. Currently, the global community is also striving to reduce the use of polymer materials derived from petroleum products and to replace them with biodegradable ones. Biodegradable polymers are destroyed in the environment not only by external physical factors but also by microorganisms. The range of biodegradable polymers and their compositions is quite extensive, but due to their high cost, the problem of developing new types remains relevant.

Keywords: highly filled composites, thermoplastics, biodegradation, lignocellulose fillers, extrusion of wood-plastic composites.

Article info: received June 9, 2026.

Введение

Одной из ведущих проблем современного материаловедения является создание нового поколения полимерных композиционных материалов (В.М. Попов et al., 2012; Lee, S. Ho. et al., 2024; А.С. Колосова et al., 2017). При решении указанной проблемы эффективен подход, основанный на сочетании полимеров с дисперсными наполнителями. Среди последних значительное место отводится наполнителям растительного происхождения, ресурсы которых постоянно возобновляются (В.Е. Сыцко et al., 2023; И.З. Файзуллин, 2015; В.В. Глухих et al., 2014; S.A. Pushkin et al., 2015). Так создание композиционных материалов на основе полимеров и измельченной древесины определяется удачным сочетанием технологических свойств полимеров (реологические свойства, совместимость с добавками, и др.) со структурно-механическими характеристиками древесины (волокнистая структура, легко обрабатывается, невысокая теплопроводность и др.), что позволяет разрабатывать композиционные системы с высокой степенью наполнения. Одновременно решаются экономические и экологические вопросы, так как в качестве наполнителя в большинстве случаев используются мелкодисперсные отходы древесины, не требующие специальной подготовки (Д.В. Тунцев, Э.Р. Хайруллина и М.Ш. Гайнуллин, 2021; А.В. Горбачев et al., 2023). Перспективность этого пути обусловлена также тем, что он позволяет не только достигать полного использования материалов, в частности, древесины, но и тем, что получаемые материалы имеют физико-механические характеристики, не уступающие большинству традиционных материалов на основе термореактивных и термопластичных полимеров, значительно превосходя их по показателям экономичности за счет высоких (до 70...80 % по объему) степеней наполнения (В.М. Шаповалов, В.Г. Барсуков и Б.И. Купчинов, 2000; А.А. Клесов, 2010; С.И. Вольфсон et al., 2014). Это представляется также основой для создания биоутилизируемых пластиков – актуальное направление, которое интенсивно развивается во всем мире (В.М. Шаповалов et al., 2024). Использование древесного наполнителя в биоразлагаемых композициях позволяет снизить стоимость полимерных изделий за счет замены дорогостоящего полимерного биоразлагаемого связующего. В то же время развитие принципов создания высоконаполненных материалов на основе полимеров и отходов деревообрабатывающих производств связаны с определенными трудностями, связанными с совместимостью компонентов композиционной смеси и их стабильной переработкой. Особенно это актуально для высоконаполненных полимеров, к которым относятся экструзионные древеснополимерные композиты (ЭДПК), и где полимерная составляющая в материале очень мала (в пределах 15–20 мас. %). Для решения этой проблемы эффективен метод, применяемый при экструзионной переработке древеснополимерных композитов на основе ПВХ, основанный на предварительном введении в дисперсную древесину модифицирующих веществ и их направленного распределения в процессе переработки между компонентами (S.SH. Lutfullayev, 2021; N.S. Qetin et al., 2011). Однако для композитов на основе полиолефинов применение таких веществ, в особенности, в количествах более 3 мас. % малоэффективно, так как наряду со стабилизацией экструзионного процесса формирования изделий наблюдается снижение физико-механических характеристик материала.

Преодоление этого недостатка возможно при использовании в композиции комплексной добавки, способствующей протеканию в материале конкурирующих процессов пластификации и структурирования полимеров. В особенности это важно для смесей термопластов. Характер взаимодействия бинарного (ПП+ПЭВД и ПЭВД+ПЭНД) связующего с наполнителем обусловлен разной проникающей способностью каждого компонента в структуру наполнителя, которая изменяется в процессе экструзии и зависит как от физико-химических свойств термопластов, так и от реотермического воздействия на композит в целом.

Цель работы – исследование влияния рецептурно-технологических аспектов переработки на процессы формирования высоконаполненных лигноцеллюлозными наполнителями полимерных композитов и их эксплуатационные свойства.

Материалы и методы исследования

В качестве связующего использовали термопластичные полимеры: полипропилен (ПП) марки 21030-16 (ТУ 6-05-1756-76), полиэтилен низкого давления (ПЭНД) марки 20706-016 (ГОСТ 16338-85), полиэтилен высокого давления (ПЭВД) марки 10802-020 (ГОСТ 16337-77). В качестве полимерной матрицы в биоразлагаемых композициях применяли – полилактид (ПЛА) марки 4043D. Для наполнения термопластов применяли лигноцеллюлозные частицы: измельченную древесину с размером частиц до 3 мм или древесную муку (ДМ, ГОСТ 16361) и гречневую лузгу (ГЛ), измельченную до 0,8 мм. В компо-

зиции вводили технологические добавки: диоктилфталат (ДОФ, ГОСТ 8728-88), триэтаноламин (ТЭА, ГОСТ 9966-88), сополимеры этилена и пропилена (СЭП), этилена и винилацетата (СЭВ), вазелиновое масло (ВМ, ГОСТ 3164-78).

Технологический процесс получения композиционного материала на основе полимерного связующего и лигноцеллюлозного наполнителя состоял из этапов механического смешения компонентов и экструзионной переработки.

Композиции на основе полиолефинов получали методом двухстадийной экструзионной переработки. На первом этапе гранулы одного из термопластов смешивали с древесными частицами в двухлопастном смесителе при температуре 20–25 °С, модифицированными пластификатором. Смесь пропускали через одношнековый экструдер при температуре 150–200 °С (по зонам) при скорости вращения шнека 20 об/мин с измельчением на частицы размером до 5 мм. На втором этапе их смешивали с гранулами второго полимера, перерабатывали в экструдере, а экструдат дробили на гранулы размером до 5 мм. Из полученного композиционного материала формовали изделие.

Для приготовления композиционного материала на основе ПЛА гранулы полимера смешивали с ВМ, далее с измельченным лигноцеллюлозным компонентом. Полученную смесь загружали в двухшнековый экструдер SUPLAST с диаметром шнека 25 мм и проводили экструзию ленты через щелевую головку при следующих технологических режимах: частота вращения шнека 60–80 об/мин, температура 130–185 °С (по зонам). Расплав пропускали через щелевую головку, подавали на тянущее устройство в виде вальцов, придавая форму листа толщиной 3 мм, нарезали на заготовки, из которых при температуре 80 °С формовали изделие.

Физико-механические характеристики композиционных материалов определяли по стандартным методикам. Испытания на растяжения проводили на машине Instron 5567. Ударную вязкость определяли на маятниковом копре КМ-0,5.

Водопоглощение образцов изучали по ГОСТ 4650. Образцы материала в форме дисков диаметром (50±1) мм и толщиной (3,0±0,2) мм погружали в дистиллированную воду при температуре (23±2) °С. Для анализа в рамках стандарта образцы композиционного материала выдерживали в течение суток, для изучения длительного воздействия воды – образцы выдерживали в водной среде в течение 3 месяцев, наблюдая визуальные изменения и регистрируя еженедельное изменение массы. Гравиметрическим методом с последующим расчетом определяли массу воды, поглощенную испытуемым образцом.

Для проведения испытаний на биоразложение использовали ГОСТ Р 57225, позволяющий определить степень разложения образцов материала при лабораторных испытаниях в условиях, имитирующих интенсивный аэробный процесс компостирования. Так как метод не предназначен для определения биоразлагаемости пластмасс в реальных условиях компостирования, параллельно были проведены дополнительные испытания. В пластиковые контейнеры объемом 1 л, заполненные почвогрунтом на половину высоты, помещали поверх почвы исследуемые образцы после взвешивания горизонтально (30х30х2 мм) и засыпали почвой до верха контейнера, проливали водой. Контейнеры помещали в разогретый до 28±2 °С термостат. После выдерживания образцов в течение необходимого количества времени (1, 2 и т. д. месяцев), образцы извлекались из почвы и проводили: визуальную оценку, взвешивание (после просушивания), расчет изменения массы.

$$\Delta m = \frac{(m - m_{\circ})}{m_{\circ}} \cdot 100\ \%\,, \qquad (1)$$

где Δm – изменение массы образца (%), m – масса образца после нахождения в почве в течение заданного времени (г), m_o – первоначальная масса образца (г).

Обсуждение результатов

Ранее указывалось, что для композитов на основе полиолефинов применение пластификаторов не всегда целесообразно, так как наряду с улучшением совместимости компонентов материала прослеживается снижение его физико-механических характеристик. Анализ научных литературных данных показал, что для качественного совмещения компонентов смеси необходимы значительные сдвиговые напряжения, обеспечивающие при формовании композита улучшение контактного взаимодействия наполнителя с полимером (В.М. Шаповалов, В.Г. Барсуков и Б.И. Купчинов, 2000). Учитывая необходимость протекания в материале конкурирующих процессов пластификации и структурирования полимера, для повышения совместимости компонентов в композит мы вводили комплексную добавку в виде смеси ДОФ и ТЭА в соотношении 1,0 : 0,5 соответственно. Как видно из рисунка 1 ее содержание в композиции оптимально в пределах 1,5–2,5 мас. %.

При этом отмечено существенное влияние последовательности совмещения компонентов на свойства материала при экструзионной переработке древесно-наполненного композита (таблица 1).

По результатам испытаний полученных композиционных материалов более высокие технические характеристики соответствуют образцам, изготовленным по следующему технологическому процессу: модифицирование ДН смесью ДОФ+ТЭА в соотношении 1,0 : 0,5; 2), смешение модифицированной ДН с ПЭ и далее с ПП. При последовательности смешения ДН с ПП и далее с ПЭ также наблюдается улучшение свойств композита по сравнению с исходным композитом, где производилось одновременное совместное смешение компонентов смеси (таблица 1).

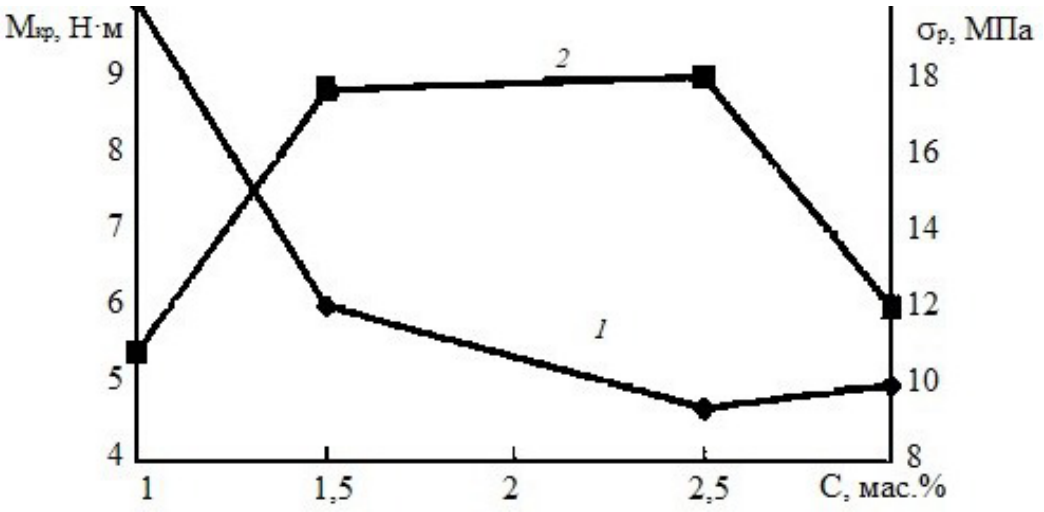


Рисунок 1 – Зависимость крутящего момента на валу двигателя ($M_{кр}$) и прочности при растяжении ($\sigma_р$) от содержания комплексного модификатора
Figure 1 – Dependence of the torque on the engine shaft (M_{kr}) and tensile strength ($\sigma_р$) on the content of the complex modifier

Таблица 1 – Влияние способа совмещения компонентов на физико-механические характеристики ЭДПК
Table 1 – The influence of the method of combining components on the physical and mechanical characteristics of the EDP

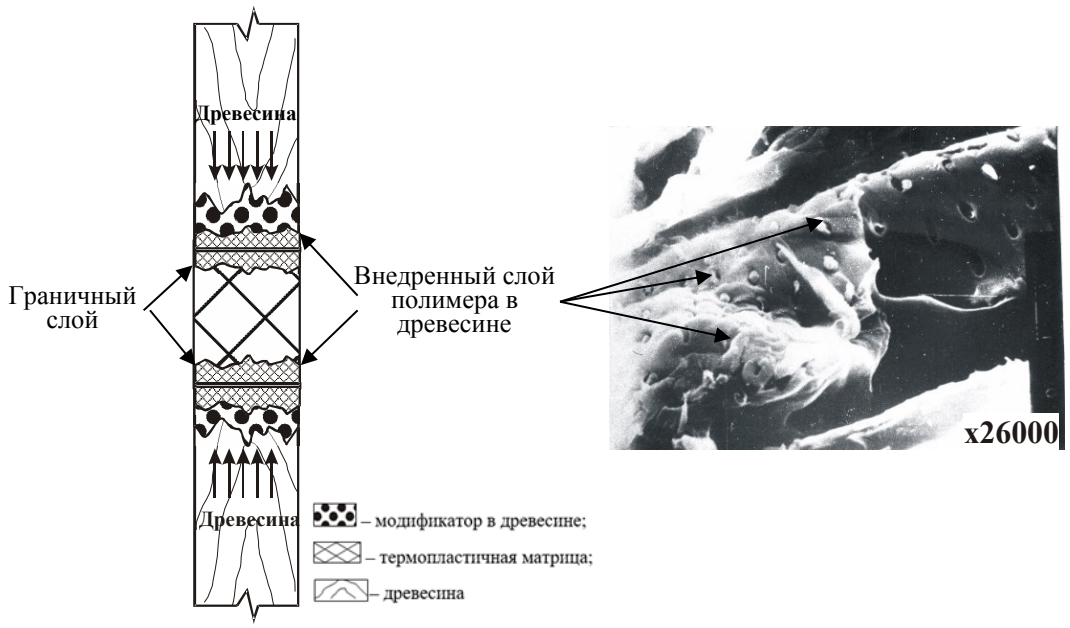
Физико-механические характеристики	Способы совмещения компонентов ЭДПК*		
	совместное	раздельное с модифицированием	
	(ПП+ПЭ)+ДН	(ПЭ+ДН)+ПП	(ПП+ДН)+ПЭ
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа вдоль направления экструзии поперек экструзии	 11 5	 20–24 13–15	 15–18 8,5–10
Ударная вязкость, кДж/м	2,8	6,8–7,4	4,6–5,5
Водопоглощение за сутки, %	4,2	1,0–1,5	1,8–2,9

Примечание: * ПП – 40 мас. %, ПЭ – 20 мас. %.

Для изучения влияния модификатора ДОФ+ТЭА на формирование структуры композита в системе «древесина – полимер – древесина» предложена физическая модель (рисунок 2), в которой отражены стадии формирования граничного слоя и внедренного слоя полимера в древесине (рисунок 2 а), а также фрагменты полимера в порах древесного вещества (рисунок 2 б).

Проведенные исследования показали, что термопластичное связующее, которое совмещается с древесиной, в первую очередь, – поглощается ее капиллярно-пористой системой. На это указывает структура скола образца «древесина – полимер – древесина» (рисунок 2 б), где наблюдается направленное проникновение полимерного связующего вглубь модифицированной ДОФ+ТЭА древесины. При этом ТЭА способствует размягчению древесины, а ДОФ делает полимерное связующее боле пластичным, что в совокупности обеспечивает более глубокое проникновение расплава полимера в структуру древесины. Это подтверждают и данные по глубине затекания ПП и ПЭ в капиллярно-пористую систему древесины (рисунок 3), где для ПЭ эти значения имеют более высокие показатели.

Таким образом, достижение более высоких значений физико-механических характеристик (таблица 1) возможно при совмещении модифицированного ДН с последующим раздельным введением компонентов полимерного связующего ((ПЭ+ДН)+ПП и (ПП+ДН)+ПЭ), что в комплексе обеспечивает формирование на границе раздела «древесина – термопласт», иммобилизованного в порах древесины. Как показали проведенные эксперименты, реализация удельных прочностных характеристик наполнителя в более полной степени проявляется при формировании изделий под действием сдвиговых и сжимающих напряжений, не вызывающих значительного разрушения частиц дисперсной древесины. Внедренный в древесину и иммобилизованный, таким



а *б (b)*

Рисунок 2 – Модель формирования древесно-полимерной структуры:
а – формирование граничного и внедренного в древесине слоев полимера,
б – фрагменты полимера в порах древесины
Figure 2 – Model of formation of wood-polymer structure:
formation of boundary and embedded polymer layers in wood (a), polymer fragments in wood pores (b)

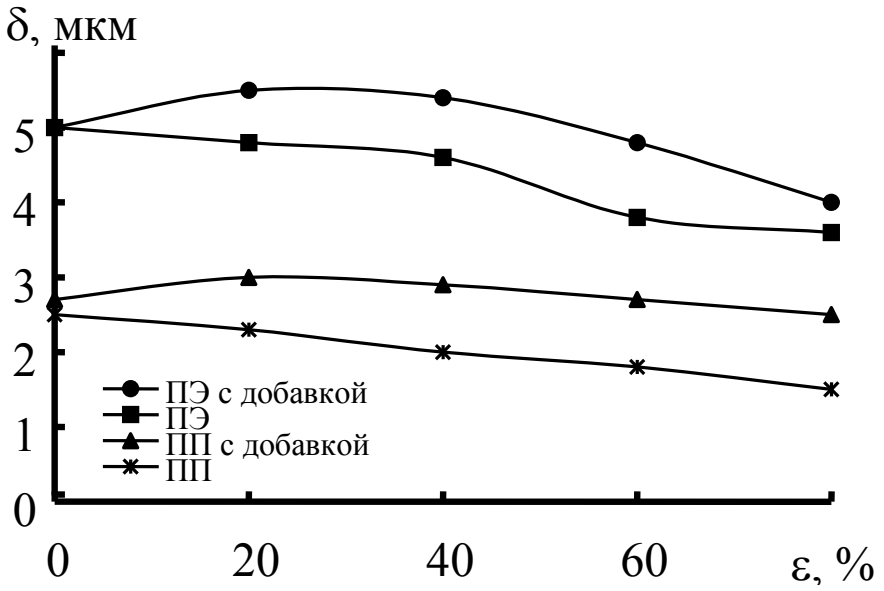


*Рисунок 3 – Зависимость глубины затекания (**δ**) связующего в капиллярно-пористую структуру древесины от состава (добавка ДОФ+ТЭА) и степени уплотнения (**ε**)*
*Figure 3 – Dependence of the penetration depth (**δ**) of the binder into the capillary-porous structure of wood on the composition (additive DOP+TEA) and the degree of compaction (**ε**)*

образом, полимер принимает участие в процессах деформирования древесно-полимерного композита и при экструзионной переработке создает условия для снижения концентраций напряжений в межфазных областях древесно-полимерной системы. Об эффективности раздельного совмещения компонентов смеси также свидетельствует снижении внутреннего (межчастичного) трения в системе, которое для материалов на основе смеси полиолефинов регистрируется при степени наполнения дисперсной древесиной не менее 20 мас. % (рисунок 4).

Отмечено, что одним из недостатков при использовании в древесно-наполненной композиционной системе на основе ПП и ПЭ является склонность ПП к фибрилляции. Наиболее сильно это проявляется при нагружении композитов в условиях повышенной влажности, что способствует снижению стабильности их эксплуатационных характеристик. Для устранения этого недостатка предложено вводить в композит полифункциональные модификаторы, которые обеспечивают совместимость ПП и ПЭ. Проведенные исследования показали, что наиболее эффективными компатибилизаторами для исследуемых композитов представляются сополимеры этилена и пропилена (СЭП) и этилена и винилацетата (СЭВ). Установлено, что их оптимальное содержание в композите для СЭП составляет 8–12 мас. %, а для СЭВ 7–10 мас. %. При таких соотношениях компонентов достигалось возрастание предела прочности при растяжении композита на 12–18 %.

В работе (А.В. Шаповалов, З.Л. Тартаковский и В.М. Шаповалов, 2012) были представлены результаты экспериментальных исследований воздействия микроорганизмов на ЭДПК. Показано, что при экспозиции образцов ЭДПК на основе полиолефинов в почве в анаэробных условиях, наблюдается потеря массы, образование пор, растрескивание и разрушение материала образцов, обусловленное окислением полимера. Кроме того, при визуальной оценке отмечено их обрастание микроорганизмами. Определено, что процессы разупрочнения образцов находятся в прямой зависимости от концентрации в них измельченной древесины. На это указывают показатели потери прочности образцов с различным содержанием в композитах измельченной

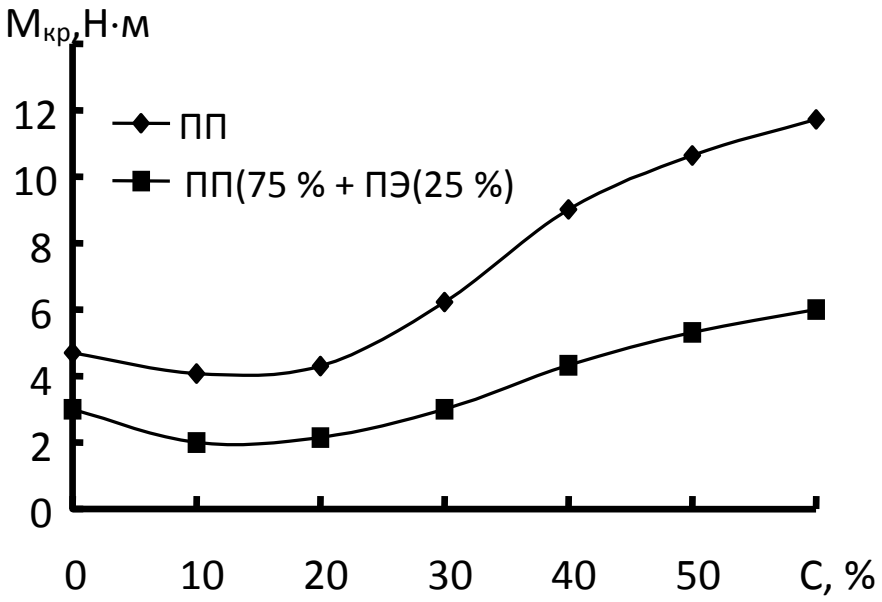


Рисунок 4 – Зависимость при переработке крутящего момента ($М_{кр}$) на валу двигателя установки ‹‹Rheochord – 90›› от степени наполнения композита (С)
Figure 4 – Dependence of the torque ($М_{кр}$) on the engine shaft of the Rheochord-90 installation on the degree of filling of the composite (C)

древесины, где при степени наполнения ДН в количестве более 50 мас. % наблюдается существенное снижение прочности (порядка 50 %), что свидетельствует, прежде всего, о создании благоприятной среды для микроорганизмов. Испытания образцов ЭДПК на грибостойкость (по ИСО 846) показали, что степень развития плесневых грибов при их наполнении > 50 мас. % соответствует 2–3 баллам (А.В. Шаповалов, З.Л. Тартаковский и В.М. Шаповалов, 2012). Таким образом проведенные исследования подтвердили возможность биоразложения ЭДПК в почве вследствие действия на них почвенных микроорганизмов.

В то же время, наличие в композите даже незначительного количества не биоразлагаемого полимера может ограничить область применения композиционного материала ввиду его вредного воздействия на окружающую среду, что свидетельствует о необходимости разработки полностью биоразлагаемых композиционных материалов. В связи с этим в ИММС НАН Беларуси были проведены исследовательские работы по изучению возможности получения биоразлагаемых композиционных материалов на основе возобновляемых источников сырья (гречневая лузга – ГЛ и древесная мука – ДМ) и полилактида (ПЛА) марки 4043Д.

Экспериментальные исследования показали, что композиционные материалы на основе ПЛА с лигноцеллюлозным дисперсным наполнителем (с точки зрения формообразования композитов и получения приемлемых свойств) вполне работоспособны (В.М. Шаповалов et al., 2024). Однако при их переработке возникла проблема совместимости компонентов материала. В связи с этим для устранения этого недостатка предложено использовать модифицирование компонентов путем введения в композит пластификатора – вазелинового масла (ВМ). Такое модифицирование предполагает усиление межфазных взаимодействий в системе «лигноцеллюлозный наполнитель–полимер». Важным также является возможность полного разложения композита в аэробных условиях, что указывает на высокую перспективность такого направления.

Учитывая, что водопоглощение материала существенно влияет на скорость процесса биоразрушения,

была изучена зависимость водопоглощения исследуемых композиционных материалов от степени наполнения и вида наполнителя (рисунок 5). В ходе эксперимента отмечено, что в течение 1 сут испытаний водопоглощение образцов, наполненных до 50 %, не превышает 3 %, а при наполнении в композите более 50 % этот показатель составляет 8–10 %. При длительных испытаниях наполненных образцов (1–3 мес) их масса достигала 35 %.

В ходе испытаний (более 2 мес) отмечено также образование на поверхности наполненных образцов микроорганизмов, в то время как на исходном ПЛА следов таковых не зарегистрировано (рисунок 6). Отмечена прямая зависимость объема образовавшихся микроорганизмов от количества наполнителя в композиции.

Так при визуальной оценке образцов, наполненных ДМ, показано существенное изменение цвета (потемнение) и наличие колоний микроорганизмов (после 1 мес испытаний). Интенсификация процесса биоразложения образцов с ДМ и ГЛ подтверждается ростом разных видов плесневых грибов на их поверхности (рисунок 7).

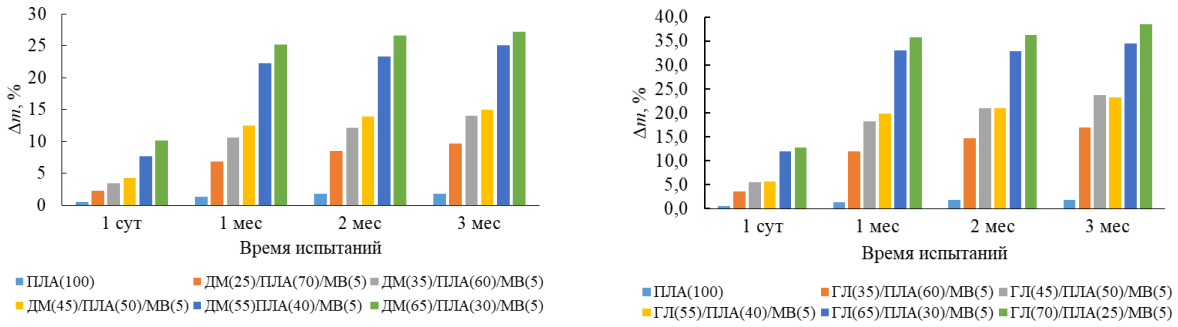
На процесс биоразложения образцов указывает изменение показателя массы во время их экспозиции в грунте (таблица 2). Показана прямая зависимость снижения показателя массы образцов от содержания наполнителя в композиции. При этом процесс биоразложения интенсивнее происходит у образцов с ДМ. Таким образом, введение в ПЛА лигноцеллюлозных наполнителей создает дополнительный источник питательной среды для микроорганизмов, что способствует более активному биоразложению материала.

Проведенный комплекс испытаний на биоразложение по ГОСТ Р 57225, имитирующих интенсивный аэробный процесс компостирования в лабораторных условиях, позволил также установить полный период разложения материала, находящийся в пределах 5 месяцев.

Из композиционного материала на основе ПЛА, наполненного лигноцеллюлозным наполнителем, были сформованны экспериментальные образцы объемных изделий (рисунок 8), что свидетельствует о возможности переработки данного вида биоразлагаемого материалов методами экструзии, прессования и литья под давлением в изделия для различных областей промышленности (отделочные материалы, тара, упаковка и т. д.).

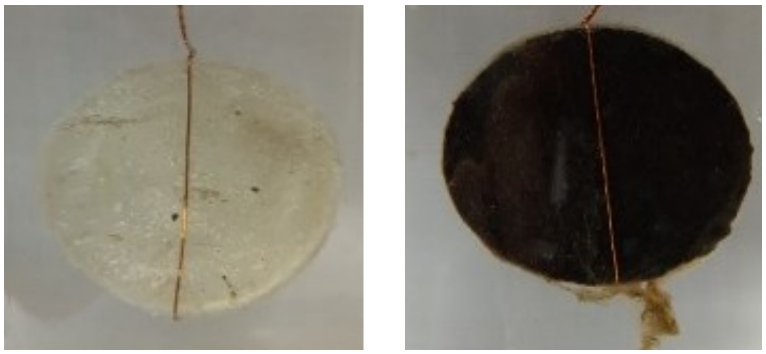
Заключение

Таким образом, полученные результаты послужили научным обоснованием для разработки комплексных мер по рецептурно-технологическому обеспечению в процессах экструзионной переработки структуры и свойств высоконаполненных композитов на основе модифицированных термопластичных полимеров и дисперсных лигноцеллюлозных наполнителей. Установлено



а *б (b)*

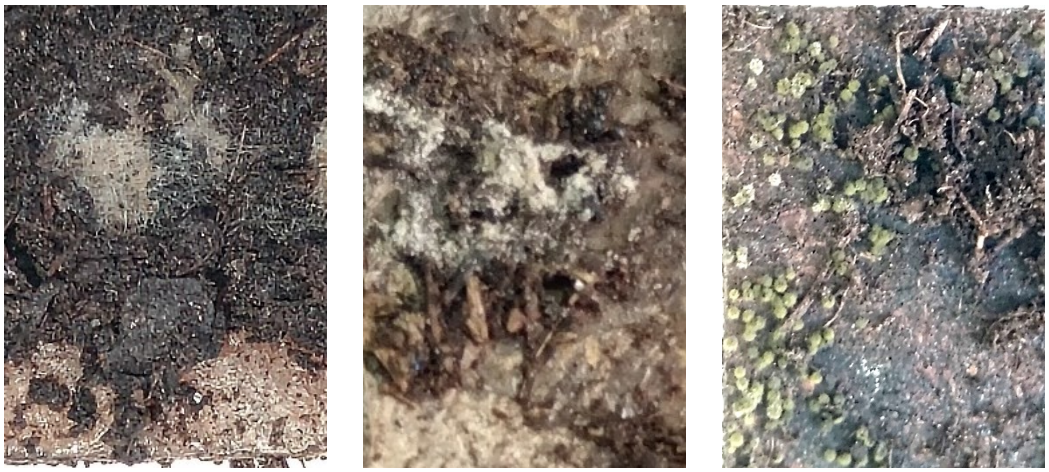
Рисунок 5 – Диаграмма зависимости степени водопоглощения композиционного материала на основе ПЛА от количества наполнителя:
а – древесная мука, б – гречневая лузга
Figure 5 – Diagram of the dependence of the degree of water absorption o f a composite material based on PLA on the amount of filler:
a – wood flour, b – buckwheat husk



а *б (b)*

в (c) *г (d)*

Рисунок 6 – Образцы биоразлагаемых материалов после экспозиции в воде (мас. %):
а – ПЛА(100); б – ГЛ(45)/ПЛА(50)/МВ(5); в – ДМ(65)/ПЛА(30)/МВ(5); г – ГЛ(55)/ПЛА(30)/МВ(5)
Figure 6 – Samples of biodegradable materials after exposure to water (wt. %):
a – PLA(100); b – GL(45)/PLA(50)/MV(5); c – DM(65)/PLA(30)/MV(5); d – GL(55)/PLA(30)/MV(5)



ДМ (35 %) *ДМ (70 %)* *ГЛ (70 %)*

Рисунок 7 – Образцы после 1 месяца испытаний на биоразложение, обсемененные колониями грибов (х5)
Figure 7 – Samples after 1 month of biodegradation testing, seeded with fungal colonies (x5)

Таблица 2 – Изменение массы образцов из композиционных материалов
Table 2 – Change in mass of samples made of composite materials

Состав	Изменение массы Δm (%) от времени испытаний (мес)			
	1	3	5	7
ПЛА(100)	0,5	0,2	0,4	0,1
ДМ(25)/ПЛА(70)/МВ(5)	7,4	-3,3	-7,1	-12,9
ДМ(35)/ПЛА(60)/МВ(5)	11,9	-3,4	-8,6	-14,0
ДМ(45)/ПЛА(50)/МВ(5)	5,3	-3,3	-10,2	-14,0
ДМ(55)ПЛА(40)/МВ(5)	8,6	-6,6	-10,6	-14,3
ДМ(65)/ПЛА(30)/МВ(5)	4,5	-10,5	-11,5	-19,6
ГЛ(35)/ПЛА(60)/МВ(5)	6,5	-3,2	-2,6	-6,6
ГЛ(45)/ПЛА(50)/МВ(5)	6,1	-4,1	-8,1	-9,4
ГЛ(55)/ПЛА(40)/МВ(5)	6,6	-5,1	-6,6	-11,0
ГЛ(65)/ПЛА(30)/МВ(5)	14,1	-6,4	-6,0	-11,7
ГЛ(70)/ПЛА(25)/МВ(5)	3,7	-11,4	-11,5	-13,0



Рисунок 8 – Экспериментальные образцы изделий из композита на основе ПЛА с ДМ (коричневый) и ГЛ (черный)
Figure 8 – Experimental samples of composite products based on PLA with DM (brown) and GL (black)

влияние последовательности введения компонентов при переработке высоконаполненных ЭДПК. Оптимальной является технология с предварительной обработкой ДН и раздельным совмещением компонентов (ПЭ+ДН)+ПП и (ПП+ДН)+ПЭ, обеспечивающая формирование на границе раздела «древесина – термопласт» иммобилизованного полимера в капиллярно-пористой структуре древесины. Внедренный в древесину и иммобилизованный полимер, принимая участие в процессах деформирования древеснополимерного композита, снижает концентрации напряжений в межфазных областях древеснополимерной системы. Изучена роль лигноцеллюлозных наполнителей (древесная мука, гречневая лузга) при разработке биоразлагаемых композиционных материалов на основе ПЛА. Установлена зависимость водопоглощения и биоразложения от вида и содержания лигноцеллюлозных наполнителей (до 70 мас. %). Экспериментально установлено, что период биоразложения исследуемых композитов составил до 5 мес. Из разработанных композиционных материалов с содержанием наполнителя до 70 % получены экспериментальные образцы объемных формоустойчивых изделий.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Материаловедение, новые материалы и технологии», подпрограмма «Многофункциональные и композиционные материалы», задание 4.2.2.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Биоразлагаемые полимерные смеси и композиты из возобнсляемых источников. (2013). Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, Российская Федерация.

Вольфсон, С.И., Мусин, И.Н., Файзуллин, И.З., Лыгина, Т.З. и Трофимова, Ф.А. (2014). Модифицированные древесно-полимерные композиты. *Пластические массы*, № 1–2, С. 41–44.

Горбачев, А.В., Файзуллин, И.З., Вольфсон, С.И., Канарский, А.В., Захаров, И.В. и Казаков, Ю.М. (2023). Композиционный материал на основе полиолефинов и модифицированных растительных наполнителей. *Пластические массы*, № 1 (1–2), С. 48–52. DOI:10.35164/0554-2901-2023-1-2-48-52.

Глухих, В.В., Мухин, Н.М., Шкуро, А.Е. и Бурындин, В.Г. (2014). *Получение и применение изделий из древесно-полимерных композитов с термопластичными полимерными матрицами*. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, Российская Федерация.

Клесов, А.А. (2010). *Древесно-полимерные композиты*. Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, Российская Федерация.

Колосова, А.С., Сокольская, М.К., Виткалова, И.А., Торлова, А.С. и Пикалов, Е.С. (2017). Наполнители для модификации современных полимерных композиционных материалов. *Фундаментальные исследования*, № 10 (часть 3), С. 459–465.

Попов, В.М., Новиков, А.П., Бусарин, Э.Н. и Лушникова, Е.Н. (2012). К созданию полимерных композиционных материалов с повышенными теплофизическими и механическими свойствами. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, Т. 8, № 4, С. 153–155.

Сыцко, В.Е., Антонова, Е.Л., Шаповалов, В.М. и Зотов, С.В. (2023). Рециклинг древесно-полимерных материалов как основа импортозамещения. *Потребительская кооперация*, № 3 (82), С. 14–18.

Тунцев, Д.В., Хайруллина, Э.Р. и Гайнуллин, М.Ш. (2021). Технология переработки древесных отходов. *Инновационные решения социальных, экономических и технологических проблем современного общества: сб. науч. ст. по итогам круглого стола с всерос. и междунар. участием (15-16 июля 2021 г.)*, С. 41–43.

Файзуллин, И.З. (2015). *Древесно-полимерные композиционные материалы на основе полипропилена и модифицированного древесного наполнителя: дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук*, Казань, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

Шаповалов, В.М., Барсуков, В.Г. и Купчинов, Б.И. (2000). *Технология переработки высоконаполненных композитов*. Гомель: ИММС НАНБ, Республика Беларусь.

Шаповалов, В.М., Винидиктова, Н.С., Коваленко, М.А. и Конакова, О.В. (2024). Биоразлагаемые пластики на основе растительного сырья: разновидности, свойства, области применения (обзор). *Полимерные материалы и технологии*,

Т10, № 2, С. 6–19.

Шаповалов, А.В., Тартаковский, З.Л. и Шаповалов, В.М (2012). Исследование возможности вторичной переработки и биоразложения экструзионных древеснополимерных материалов. *Проблемы лесоведения и лесоводства: сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси*, № 72, С. 413–419.

Çetin, N.S., Özmen, N. and Birinci, E. (2011). Acetylation of wood with various catalysts. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, vol. 31, iss. 2, pp. 142–153.

Pushkin, S.A., Kozlova, L.V., Makarov, A.A., Grachev, A.N. and Gorshkova, T.A. (2015). Cell wall components in torrefied softwood and hardwood samples. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 116 (November), pp. 102–113.

Lee, S.Ho., Luvnish, A., Su, X., Meng, Q., Liu, M., Kuan, H.-C., Saman, W., Boström, M., Boström, M. and Ma, J. (2024). Advancements in polymer (Nano)composites for phase change material-based thermal storage: A focus on thermoplastic matrices and ceramic/carbon fillers. *Smart Materials in Manufacturing*, vol. 2., pp. 1–11. DOI:10.1016/j.smmf.2024.100044.

Lutfullayev, S.SH. (2021). *Development of thermostabilizers for polyvinylchloride based on secondary modified products: monografiya*. Pune: Novateur Publication, India.

REFERENCES

Biorazlagaemye polimernye smesi i kompozity iz vozobnoslyaemyh istochnikov [Biodegradable polymer blends and composites from renewable sources]. (2013). Saint Petersburg: Scientific Foundations and Technologies, Russian Federation (In Russian).

Wolfson, S.I., Musin, I.N., Fayzullin, I.Z., Lygina, T.Z. and Trofimova, F.A. (2014). Modified wood-polymer composites [Modificirovannye drevesno-polimernye kompozity]. *Plasticheskie massy = Plastics*, no. 1–2, pp. 41–44. (In Russian).

Gorbachev, A.V., Fayzullin, I.Z., Wolfson, S.I., Kanarsky, A.V., Zakharov, I.V. and Kazakov, Yu.M. (2023). Composite material based on polyolefins and modified plant fillers [Kompozicionnyj material na osnove poliolefinov i modificirovannyh rastitel'nyh napolnitelej]. *Plasticheskie massy = Plastics*, no. 1(1–2), pp. 48–52. DOI:10.35164/0554-2901-2023-1-2-48-52 (In Russian).

Glukhikh, V.V., Mukhin, N.M., Shkuro, A.E. and Buryndin, V.G. (2014). *Poluchenie i primenenie izdelij iz drevesno-polimernyh kompozitov s termoplastichnymi polimernymi matricami* [Production and application of products from wood-polymer composites with thermoplastic polymer matrices]. Ekaterinburg: Ural State Forest Engineering University, Russian Federation (In Russian).

Klesov, A.A. (2010). *Drevesno-polimernye kompozity* [Wood-polymer composites]. St. Petersburg: Scientific Foundations and Technologies, Russian Federation (In Russian).

Kolosova, A.S., Sokolskaya, M.K., Vitkalova, I.A., Torlova, A.S. and Pikalov, E.S. (2017). Fillers for modifying modern polymer composite materials [Napolniteli dlya modifikacii sovremennyh polimernyh kompozicionnyh materialov]. *Fundamental'nye issledovaniya = Fundamental Research*, no. 10 (part 3), pp. 459–465 (In Russian).

Popov, V.M., Novikov, A.P., Busarin, E.N. and Lushnikova, E.N. (2012). On the creation of polymer composite materials with enhanced thermophysical and mechanical properties [K sozdaniyu polimernyh kompozicionnyh materialov s povyshennymi teplofizicheskimi i mekhanicheskimi svojstvami]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*, vol. 8, no. 4, pp. 153–155 (In Russian).

Sytsko, V.E., Antonova, E.L., Shapovalov, V.M. and Zotov, S.V. (2023). Recycling of wood-polymer materials as a basis for import substitution [Recikling drevesno-polimernyh materialov kak osnova importozameshcheniya]. *Potrebitel'skaya kooperaciya = Consumer Cooperatives*, no. 3 (82), pp. 14–18 (In Russian).

Tuntsev, D.V., Khairullina, E.R. and Gainullin, M.Sh. (2021). Wood Waste processing technology [Tekhnologiya pererabotki drevesnyh othodov]. *Innovacionnye resheniya social'nyh, ekonomicheskih i tekhnologicheskih problem sovremennogo obshchestva: sb. nauch. st. po itogam kruglogo stola s vseros. i mezhdunar. uchastiem (15–16 iyulya 2021 g.) = Innovative Solutions to Social, Economic, and Technological Problems of Modern Society: Coll. scientific articles following the round table with all-Russian and international participation (July 15–16, 2021)*, pp. 41–43 (In Russian).

Fayzullin, I.Z. (2015). *Drevesno-polimernye kompozicionnye materialy na osnove polipropilena i modificirovannogo drevesnogo napolnitelya: diss. na soiskanie uchenoj stepeni kand. tekhn. nauk* [Wood-polymer composite materials based on polypropylene and modified wood filler: Dissertation for the degree of Cand. Sci]. Kazan, Kazan National Research Technological University, Russian Federation (In Russian).

Shapovalov, V.M., Barsukov, V.G. and Kupchinov, B.I. (2000). *Tekhnologiya pererabotki vysokonapolnennyh kompozitov* [Highly filled composites processing technology]. Gomel: IMMS NASB, Republic of Belarus (In Russian).

Shapovalov, V.M., Vinidiktova, N.S., Kovalenko, M.A. and Konakova, O.V. (2024). Biodegradable plastics based on plant-based raw materials: types, properties, and applications (review) [Biorazlagaemye plastiki na osnove rastitel'nogo syr'ya: raznovidnosti, svojstva, oblasti primeneniya (obzor)]. *Polimernye materialy i tekhnologii = Polymer Materials and Technologies*, vol. 10, no. 2, pp. 6–19 (In Russian).

Shapovalov, A.V. Tartakovsky, Z.L. and Shapovalov, V.M. (2012). Study of the possibility of recycling and biodegradation of extruded wood-polymer materials [Issledovanie vozmozhnosti vtorichnoj pererabotki i biorazlozheniya ekstruzionnyh drevesnopolimernyh materialov]. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: cbornik nauchnyh trudov IL NAN Belarusi = Problems of Forestry and Silviculture: Collection of Scientific Papers of the IL NAS of Belarus*, no. 72, pp. 413–419 (In Russian).

Çetin, N.S., Özmen, N. and Birinci, E. (2011). Acetylation of wood with various catalysts. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, vol. 31, iss. 2, pp. 142–153.

Pushkin, S.A., Kozlova, L.V., Makarov, A.A., Grachev, A.N. and Gorshkova, T.A. (2015). Cell wall components in torrefied softwood and hardwood samples. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, vol. 116 (November), pp. 102–113.

Lee, S.Ho., Luvnish, A., Su, X., Meng, Q., Liu, M., Kuan, H.-C., Saman, W., Boström, M., Boström, M. and Ma, J. (2024). Advancements in polymer (Nano)composites for phase change material-based thermal storage: A focus on thermoplastic matrices and ceramic/carbon fillers. *Smart Materials in Manufacturing*, vol. 2., pp. 1–11. DOI:10.1016/j.smmf.2024.100044.

Lutfullayev, S.SH. (2021). *Development of thermostabilizers for polyvinylchloride based on secondary modified products: monografiya*. Pune: Novateur Publication, India.

Информация об авторах | Information about the authors

Шапавалов Виктор Михайлович
Доктор технических наук, главный научный сотрудник отдела № 1, Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, Республика Беларусь.
E-mail: shapovalov@mpri.org.by

Винидиктова Наталья Сергеевна
Кандидат технических наук, заведующая отделом № 1, Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, Республика Беларусь.

Viktor M. Shapovalov
Doctor of Science (in Engineering), Chief Researcher, Department No. 1, V.A. Bely Institute of Mechanics of Metallopolymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus.
E-mail: shapovalov@mpri.org.by

Natalia S. Vinidiktova
Candidate of Sciences (in Engineering), Head of Department No. 1, V.A. Bely Institute of Mechanics of Metallopolymer Systems of the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus.

УДК 677.076.49 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-20-32

Разработка ранозаживляющего сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием

М. С. Карнилов[1], Д. Б. Рыклин[1], В. Д. Меламед[2], М. А. Демидова[1]

[1]Витебский государственный технологический университет, [2]Гродненский государственный медицинский университет, Республика Беларусь

Аннотация. Создание новых видов высокоэффективных раневых покрытий и перевязочных материалов является актуальной задачей. Статья посвящена разработке и исследованию ранозаживляющих материалов, состоящих из сорбирующей подложки и нановолокнистого покрытия, полученного методом электроформирования. В качестве подложки выбран нетканый материал спанлейс, сорбирующие свойства которого были повышены в результате пропитки раствором альгината натрия. Нановолокнистое покрытие формировалось из раствора хитозана и поливинилового спирта. Определены рациональный состав прядильного раствора и режимы работы установки Fluidnatek LE-50, обеспечивающие стабильность процесса электроформования. Анализ изображений структуры образцов, полученных при помощи электронной микроскопии, показал, что полученные нановолокнистые покрытия отличались равномерностью нанесения нановолокон и незначительным количеством дефектов. Осуществлена оценка заживляющих свойств сорбирующих раневых нановолокнистых покрытий, проведенная на основании изучения процессов регенерации полнослойных кожных ран половозрелых нелинейных белых крыс. Данные гистологических исследований свидетельствуют об ускоренной эпителизации первично-контаминированных кожных ран при применении хитозан-альгинатных раневых покрытий. Это подтверждается ускоренной эпителизацией раневой поверхности, формированием более мощного пласта эпидермиса, установлением его более тесных связей с формирующейся дермой, ускоренным развитием дермы, меньшей выраженностью воспалительных процессов в ране.

Ключевые слова: ранозаживляющий материал, сорбирующие свойства, электроформование, нановолокна, альгинат натрия, хитозан, поливиниловый спирт.

Информация о статье: поступила 10 июня 2026 года.

Development of a wound-healing sorbent material with a nanofiber coating

Mikhail S. Karnilau[1], Dzmitry B. Ryklin[1], Vladimir D. Melamed[2], Mariya A. Demidova[1]

[1]Vitebsk State Technological University, [2]Grodno State Medical University, Republic of Belarus

Abstract. The creation of new types of highly effective wound coverings and dressings is an urgent task. The article is devoted to the development and investigation of wound-healing materials consisting of a sorbent substrate and a nanofibrous coating obtained by electrospinning. Nonwoven spunlace was chosen as the substrate, and its sorption properties were enhanced by impregnation with a sodium alginate solution. The nanofibrous coating was formed from a solution of chitosan and polyvinyl alcohol. The rational composition of the spinning solution and operating modes of the Fluidnatek LE-50 that ensure the stability of the electrospinning process were determined. Analysis of SEM images of the structure of the samples showed that the resulting nanofibrous coatings were distinguished by the uniformity of nanofiber deposition and a small number of defects. An assessment of the healing properties of sorbent wound nanofibrous coatings was carried out based on the study of the regeneration processes of full-thickness skin wounds in mature nonlinear white rats. Data from histological studies indicate accelerated epithelization of primarily contaminated skin wounds when using chitosan-alginate wound dressings. This is confirmed by the accelerated epithelization of the wound surface, the formation of a more powerful layer of the epidermis, the establishment of its closer connections with the developing dermis, the accelerated development of the dermis, and the less severe inflammatory processes in the wound.

Keywords: wound healing material, sorbent properties, electrospinning, nanofibers, sodium alginate, chitosan, polyvinyl alcohol.
Article info: received June 10, 2026.

Введение

За последние годы значительно вырос объем рынка средств для лечения хронических ран. Согласно отчету «Chronic Wound Care Market Report 2026»[1] среднегодовой темп его роста составляет 7,4 %. По представленным в отчете прогнозам объем рынка таких средств в 2026 году достигнет 17,64 млрд долларов. При этом к основным тенденциям прогнозируемого периода относятся растущее внедрение современных перевязочных материалов, увеличение использования устройств для терапии ран отрицательным давлением, расширение интеграции интеллектуальных решений для мониторинга ран, расширение ассортимента биоактивных и антимикробных перевязочных материалов, а также повышенное внимание к персонализированному уходу за ранами. В связи с этим актуальной задачей является разработка высокоэффективных раневых покрытий и перевязочных материалов, способных не только оказывать лечебный эффект за счет наличия в них лекарственных компонентов, но и создавать непосредственно в ране среду, благоприятствующую заживлению (Кудряшова и др., 2021).

Известно, что эффективность перевязочных материалов для лечения ран во многом обусловлена их сорбционными свойствами. Обширные раны продуцируют значительное количество экссудата – до 0,35 мл/см^2 в сутки. Удаление выделяющегося экссудата с раневой поверхности необходимо для предотвращения обратного всасывания в организм токсичных продуктов распада некротических тканей [Ушмаров и др., 2024; Бровко и др., 2023].

Разработка раневых покрытий всегда осуществляется с учетом их сорбционных свойств. В медицине принято выделять различные группы сорбирующих веществ. Так, по коллоидно-химическим принципам функционирования сорбенты подразделяются на:

– волокнистые материалы гидрофильной природы, обладающие средней удельной поверхностью, пористостью и включающие в свой состав малоактивные функциональные группы. Это традиционные целлюлозные перевязочные материалы – марля, вата, вискозные волокна, которые при контакте с раневым экссудатом способны несколько увеличить свою достаточно ограниченную сорбционную структуру (Абаев, 2005; Капуцкий и Абаев, 2001);

– гидрофильные материалы и вещества, способные в водных средах неограниченно набухать и образовывать гели и гелеобразные структуры. При высыхании они образуют на раневой поверхности прочное защитное покрытие. К этим веществам относятся производные поливинилового спирта, альгиновой кислоты, окисленной целлюлозы, полиэтиленоксид, гель декстрана, а также соединения, образующие гелевые структуры – силикагели, желатин, хитин (Абаев, 2005; Mogoşanu and Grumezescu, 2014);

– полимерные материалы и вещества дифильной и гидрофобной природы, в том числе синтетические полимерные материалы (кремнийорганические, полиуретановые, полиметилсилоксановые и др.), а также угольные вещества и углеволокнистые сорбенты, которые абсорбирует экссудат и бактерии из раневого ложа в перевязочный материал и работают как способ механической очистки раневой поверхности (Ославский, 2016).

При этом перспективными являются исследования, посвященные созданию комплексных, высокоэффективных раневых покрытий, способных обеспечить сочетание сразу нескольких коллоидно-химических принципов функционирования.

При проектировании современных перевязочных материалов учитывается необходимость придания им многофункциональных свойств, таких как эффективный контроль экссудата, антимикробное действие, контролируемое высвобождение лекарственных средств для ускорения регенерации тканей и адаптация к различным стадиям заживления ран (Остроушко и др., 2024).

Создание пористой структуры раневого покрытия приобретает особую значимость, поскольку пористая структура сорбирующих материалов не только обеспечивает эффективное дренирование раневого экссудата и создание влажной среды, необходимой для заживле-

[1] https://www.researchandmarkets.com/report/chronic-wound?utm_source=GNE&utm_medium=PressRelease&utm_code=rl_7vrqfj&utm_campaign=1933275+-++Global+Hy&utm_exec=kamumsai

ния, но и позволяет использовать их в качестве матриц для контролируемого высвобождения лекарственных препаратов, что способствует ускоренной регенерации тканей.

Экспериментально подтверждено, что сорбирующие покрытия эффективны при лечении ожоговых ран, в том числе осложненных инфекцией, а использование современных методов (например, сверхкритической сушки или циклической заморозки) позволяет получать материалы с высокоразвитой пористой структурой и улучшенными функциональными свойствами (Цыганков и др., 2025).

При этом использование тканей или нетканых материалов в роли подложек для инновационных раневых покрытий имеет свои ограничения, поскольку в связи с их ворсистой структурой существует вероятность попадания частиц материала непосредственно в рану, что может препятствовать её заживлению. Требуется создание защитной мембраны для предотвращения попадания частиц сорбента в рану, при этом такая мембрана не должна препятствовать ее заживлению, быть биосовместимой и биодеградируемой, пропускать экссудат. Такой мембраной может стать нановолокнистый слой, получаемый методом электроформования.

Сущность электроформования заключается в получении нановолокон за счет воздействия электрического поля на раствор или расплав полимера (Haider A., Haider S. and Kang, 2018; Stace et al., 2019). Электроформование позволяет получать пленки и композиционные материалы, структура и состав которых обеспечивают достижение заданного уровня водо – и паропроницаемости, антисептических свойств. В литературе описан ряд медицинских и биоинженерных изделий санитарно-гигиенического, косметологического и лечебного назначения, в том числе, для обеспечения доставки лекарств и заживление ран (Wang, 2009). Нановолокнистые материалы, как лечебное средство, применяются в качестве различных покрытий, в которых они выполняют как защитные, так и лечебные функции при повреждениях, например, внутренних органов (Chagas et al., 2021; Hermenegildo et al., 2022).

Таким образом, целью данной работы являлась разработка перевязочного сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием.

Для достижения поставленной цели в рамках данной работы необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать рациональный состав прядильного раствора для получения нановолокнистого покрытия.

2. Выбрать и модифицировать сорбирующую подложку для нанесения нановолокнистого покрытия.

3. Определить режимы электроформования при использовании хитозаносодержащих растворов.

4. Оценить ранозаживляющие способности образцов при лечении экспериментальных гнойных ран.

Методы и средства исследований

Перспективным направлением разработки раневых покрытий является получение нановолокнистых пленок на основе различных гидрофильных материалов и веществ, одним из которых являются различные виды хитозана (Прокопчук, 2015; Пирниязов и др., 2026). Хитозан – это природный полисахарид, полученный путем удаления ацетильных групп из хитина, который обладает различными физиологическими свойствами, такими как нетоксичность, иммуностимулирующее действие, антимикробное действие, биоразлагаемость и биосовместимость. Поэтому нановолокна, полученные из хитозана, используются при гемостазе и заживлении ран (Yu et al., 2025; Wang et al., 2025).

С точки зрения проведения процесса электроформования растворы из хитозана обладают специфическими свойствами. Хитозан – это катионный полимерный электролит, который несет положительный заряд при растворении в растворе, а молекулы с аналогичными зарядами будут отталкиваться друг от друга, нарушая конус Тейлора, тем самым затрудняя электроформование. Поэтому хитозан обычно смешивают с другими полимерами, способными стабилизировать процесс электроформования, а также обладающими необходимыми лечебными свойствами (Гебремарьям и др., 2025).

При выборе стабилизирующего полимера для получения нановолокнистых пленок на основе хитозана принимались во внимание такие предъявляемые к нему требования, как биосовместимость, биодеградируемость, а также приемлемые механические свойства получаемых материалов: низкая жесткость, достаточная прочность, предотвращающая повреждение пленки при хирургических манипуляциях, а также при воздействии потока крови (Gao et al., 2021; Pillai et al., 2021).

В литературе описано использование в роли добавок таких полимеров, как полиэтиленоксид, полилактид и поливиниловый спирт. Так, например, при исследовании процесса электроформования растворов хитозана было установлено, что содержание полиэтиленоксида Sigma Aldrich (США) высокой молекулярной массы

400 кДа позволяет улучшить стабильность процесса (Прокопчук и Прищепенко, 2022). Однако данная добавка имеет свои недостатки: полиэтиленоксид обладает высокой стоимостью, около €387.00 за 500 г[2].

В роли добавки в раствор хитозана для получения сорбирующих раневых покрытий был выбран поливиниловый спирт (ПВС). ПВС является биосовместимым полимером, не оказывает токсической нагрузки на организм пациента и не вызывает иммунного ответа, обладает специфическим характером и скоростью растворения, способен выводиться из организма пациента и не накапливается в тканях и органах. Благодаря нетоксичности, ПВС применяется в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозаменяющих растворов и раневых покрытий. ПВС является водорастворимым полимером, в связи с чем широко применяется в инновационной медицине для получения нановолокнистых материалов с высокой скоростью растворения (Рыклин и др., 2024a). ПВС гигроскопичен, растворяется в холодной воде крайне медленно, но при повышенных температурах (около 90 °С) достаточно быстро переходит в раствор (Николаев и Охрименко, 1979). Однако скорость растворения волокон поливинилового спирта зависит не только от температуры растворителя, но и структуры материала. Так нановолокнистая структура из ПВС растворяется практически мгновенно.

Известно, что нановолокнистые пленки не обладают выраженным сорбционным эффектом, что накладывает определенные ограничения при использовании их в качестве раневых покрытий. В связи с этим, важное значение в процессе разработки перевязочного сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием приобретает выбор сорбирующей подложки для нанесения нановолокнистого слоя.

Современные сорбирующие средства на основе нетканых материалов находят широкое применение в медицине, гигиене и текстильной промышленности благодаря их высокой проницаемости, гибкости и возможностям функциональной модификации. Одним из таких материалов является спанлейс – нетканый материал, получаемый методом гидроскреплания, отличающийся высокой прочностью и мягкостью, сорбирующими свойствами, а также относительно невысокой стоимостью и широкой доступностью. Однако его влагопоглощающие свойства ограничены, что является существенным недостатком при необходимости лечения высокоэкссудативных гнойных ран.

Известны различные способы повышения сорбционных свойств материалов (Седанова и др., 2025): модификация поверхности, использование композитных материалов, регулирование гидрофильности/гидрофобности.

В рамках исследования был выбран метод повышения гидрофильности материала спанлейс посредством предварительной пропитки 1,5 % водным раствором альгината натрия. Альгинат натрия – природный полисахарид, обладающий высокой гидрофильностью и способностью к гелеобразованию, что делает его перспективным модификатором для улучшения водоудерживающих свойств подложек (Григорьян и др., 2022).

Наработка нановолокнистых раневых покрытий осуществлялось на установке Fluidnatek LE-50 с использованием специально разработанной прядильной головки (эмиттера), обеспечивающей стабильный процесс электроформования при расстоянии между эмиттером и коллектором, равном 6 см, что существенно меньше значения, устанавливаемого в случае применения стандартной прядильной головки. Предыдущие исследования показали, что уменьшение расстояния между прядильными электродами приводит к повышению диаметра нановолокон, что способствует снижению скорости биодеградации (Рыклин и др., 2024b]. При этом модифицированная сорбирующая подложка закреплялась на прядильном барабане (коллекторе), на который подавался отрицательный потенциал, а через прядильную головку подавался волокнообразующий раствор на основе хитозана с добавлением ПВС. После формования полученные образцы сушились в сухожаровом шкафу при температуре 40 градусов в течение 60 минут для удаления остатков уксусной кислоты в материале.

Особенности структуры получаемых нановолокнистых покрытий изучались на основе анализа изображений, полученных с использованием сканирующего электронного микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия).

Для оценки эффективности применения сорбирующих материалов с нановолокнистыми покрытиями проведено исследование процессов регенерации полнослойных кожных ран у 16 половозрелых нелинейных белых крыс в возрасте 4–5 месяцев, массой 180–230 грамм, полученных из вивария УО «Гродненский

[2] https://www.sigmaaldrich.com/BY/en/product/aldrich/372773

государственный медицинский университет».

Моделирование экспериментальной первично-контаминированной кожной раны у лабораторных крыс осуществлялось в условиях операционной с соблюдением правил обезболивания, асептики и антисептики. Под эфирным наркозом по закрытому контуру на спине животных в межлопаточной области по вертебральной линии выщипывался подшерсток, выбривалась шерсть. После обработки области манипуляции дважды антисептиком «Септоцид» в данной зоне маркировали и формировали экспериментальную кожную рану с подшиванием предварительно простерилизованной предохранительной камеры с целью предотвращения контракции раневого дефекта.

Через 3 суток после операции происходило формирование первично-контаминированной раны за счет биоценоза условий нахождения крысы в условиях вивария. В дальнейшем для лечения первично-контаминированных ран (через 3 суток) у 11 крыс опытной группы накладывали на раны разработанные образцы медицинских изделий, содержащих пропитанный альгинатом натрия сорбирующий слой из нановолокнистого покрытия из хитозана и поливинилового спирта (хитозан-альгинатные раневые покрытия). У 5 крыс контрольной группы на раны накладывали повязку с водорастворимой мазью «Меколь». Данный препарат наиболее часто применяется в хирургической практике при лечении гнойных ран. Крыс выводили из эксперимента на 3-и, 7-е и 11-е сутки посредством передозировки эфирного наркоза.

Осуществлялись планиметрические исследования – во время перевязок и в дни вывода из эксперимента кожные раны фотографировали с помощью цифровой фотокамеры, а полученные изображения изучали с помощью компьютерного анализатора изображения для измерения общей площади раны, площади зоны эпителизации и площади открытой, неэпителизированной части раны.

После выведения животных из эксперимента производили в области кожной раны забор кусочков кожи с последующим приготовлением препаратов для гистологических исследований – иссекали участки ран и прилежащих тканей с последующей подготовкой гистологических препаратов. Оценивали клеточный состав раны и покрывающего её новообразованного эпителия, состояние подлежащей соединительной и мышечной тканей, выраженность перифокальных воспалительных изменений. Изучение гистологических препаратов проводилось с помощью исследовательского микроскопа Axioscop 2 plus (Zeiss, Германия) (при увеличениях 25–900 крат) с цифровой видеокамерой DFC320 (Leica, Германия) и программы компьютерного анализа изображения ImageWarp (Bit Flow, США).

Исследования заживляющих свойств сорбирующих раневых нановолокнистых покрытий были выполнены в условиях разработанной адекватной анестезии под эфирным наркозом по закрытому контуру с разрешения Этического комитета УО «Гродненский государственный медицинский университет», а также в соответствии с «Европейской Конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях».

Результаты исследований

С целью разработки оптимального состава прядильного раствора данное исследование фокусировалось на подборе минимально необходимого количества добавки ПВС для стабилизации процесса электроформования без ухудшения эффективности его медицинских свойств хитозана. При этом особое внимание уделялось контролю вязкости прядильного раствора с целью беспрепятственного прохождения его через иглу эммитера установки.

Разработка состава прядильного раствора осуществлялась на основе требований к его динамической вязкости и результатах предварительных экспериментов. В литературе отмечается, что для получения нановолокон методом электроформования обычно используются растворы полимеров с весовой концентрацией до 20 % и динамической вязкостью от 50 до 1000 мПа·с (Демидова и др., 2025).

Ранее было установлено, что процесс электроформования волокон из растворов на основе хитозана с добавлением ПВС затруднялся при динамической вязкости более 250 мПа·с. Также при определении рационального состава раствора был учтен тот факт, что эффективность процесса повышается с увеличением содержания в растворе поливинилового спирта и уксусной кислоты [Рыклин и др., 2025].

Концентрация ПВС выбиралась экспериментальным путем на основе анализа стабильности процесса электроформования.

Предварительные исследования показали, что содержание в прядильном растворе 9,6 % хитозана и 1 % ПВС не является приемлемым, процесс электроформо-

вания волокон из такого раствора протекал недостаточно стабильно, что не приводило к формированию четко структурированной нановолокнистой структуры материала. При увеличении содержания ПВС в 2 раза процесс стабилизировался.

Разработанная технология получения прядильного раствора для нанесения нановолокнистого раневого покрытия состоит из следующих этапов:

1. Приготовление 12 % раствора хитозана: растворение хитозана в 80 % растворе уксусной кислоты при комнатной температуре с периодическим перемешиванием до его полного растворения.

2. Приготовление водного 10 % раствора ПВС на водяной бане при температуре 60–70 градусов в течении 30 минут с постоянным перемешиванием.

3. Смешивание растворов хитозана и ПВС в соотношении 4 : 1.

В результате исследований были определены рациональные режимы электроформования для получения перевязочного сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием (таблица 1). Установлено, что при использовании разработанного состава раствора, процесс электроформования остается стабильным, с наличием незначительных допустимых колебаний конуса Тейлора (в пределах 0.5–1 см).

Изображения структуры нановолокнистых материалов, полученные методом сканирующей электронной микроскопии, представлены на рисунке 1.

Разработанные образцы сорбирующих раневых нановолокнистых покрытий отличались визуальной равномерностью нанесения покрытия, имели белый цвет и обладали тактильной гладкостью, не теряли и не изменяли своей структурной целостности при сгибании. Использованная при получении образцов модифицированная сорбирующая подложка не оказывала негативного влияния на протекание процесса электроформования, снятие нановолокнистого покрытия с прядильного барабана, а также не отслаивалась от полимерного слоя при использовании сорбирующего раневого покрытия по назначению.

Анализ изображений структуры образцов, полученных при помощи электронной микроскопии, показал, что полученные материалы отличались равномерностью нанесения нановолокон. Отсутствие существенного количества дефектов свидетельствует о стабильности процесса электроформования, оптимально подобранном составе прядильного раствора из хитозана с добавлением ПВС, а также о рациональности предлагаемых режимов процесса.

Результаты макроскопического исследования кожных ран у контрольных животных показали, что через 1 сутки размеры раны существенно не отличались от исходной, а через 3 суток начинали уменьшаться в обеих группах. Однако после пятых суток прослеживалась статистически значимая динамика уменьшения ран в опытной группе по сравнению с контрольной. Так, в процентном соотношении заживление ран на 5-е, 7-е и 11-е

Таблица 1 – Состав прядильного раствора и параметры процесса электроформования
Table 1 – Composition of the spinning solution and parameters of the electrospinning process

Наименование параметра	Значение параметра
Состав прядильного раствора: – хитозан – ПВС – уксусная кислота – вода	 9,6 % 2,0 % 56,3 % 32,1 %
Состав нановолокнистого покрытия: – хитозан – ПВС	 82,8 %, 17,2 %
Расход, мл/ч	0,9
Потенциал эмиттера, кВ	20
Потенциал коллектора, кВ	-6

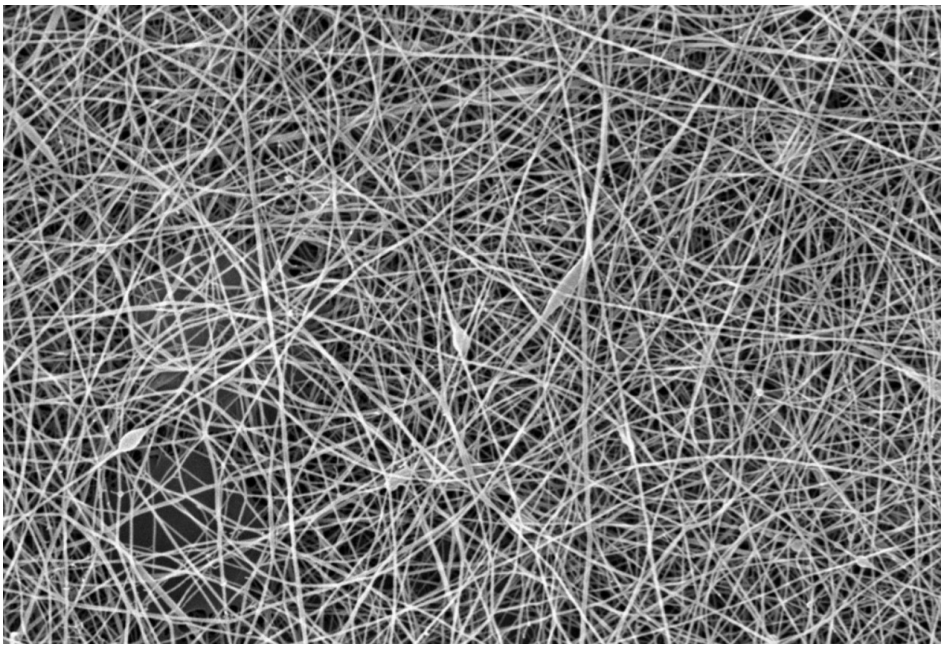


Рисунок 1 – Структура нановолокнистого покрытия
Figure 1 – Structure of the nanofibrous coating

сутки в группе животных с применением хитозан-альгинатных повязок составляло 48,6 ± 2,6 %, 32,1 ± 4,1 % и 0,4 ± 0,1 %, а в контрольной группе 63,6 ± 3,9 %, 47,2 ± 5,6 % и 18,5 ± 0,7 % соответственно. Динамика заживления ран в исследуемых группах после операции представлена на рисунке 2.

На 11-е сутки у животных обеих групп детрит не обнаружен. У крыс контрольной группы рана очистилась, но не эпителизировалась (незажившая часть составляет 18,5 ± 0,7 %). В ране обнаружена созревающая грануляционная ткань с наличием как редуцированных, так и нередуцированных сосудов, слабо выраженная клеточная инфильтрация, представленная преимущественно фибробластами и фиброцитами, а также отмечается разрастание рыхлой соединительной ткани.

В аналогичный срок у крыс опытной группы раневой дефект резко уменьшился в размерах и практически зажил, составляя 0,4 ± 0,1 %. В дне раны определяется созревшая неспецифическая грануляционная ткань с наличием редуцированных сосудов и скудной клеточной инфильтрацией с преобладанием фибробластов и фиброцитов, а также разрастание рыхлой соединительной ткани. В краях раны со всех сторон определяются признаки регенерации эпителия с тенденцией к полному закрытию раневого дефекта.

Данные гистологических исследований свидетельствуют об ускоренной эпителизации первично-контаминированных кожных ран при применении хитозан-альгинатных раневых покрытий. Это подтверждается ускоренной эпителизацией раневой поверхности, формированием более мощного пласта эпидермиса, установлением его более тесных связей с формирующейся дермой, ускоренным развитием дермы, меньшей выраженностью воспалительных процессов в ране.

Выводы

В рамках исследования был разработан сорбирующий материал с нановолокнистым покрытием для использования в медицине. В качестве волокнообразующего полимера был выбран хитозан, что обусловлено его уникальными ранозаживляющими свойствами, в роли стабилизирующего полимера – поливиниловый спирт.

Предложена технология получения бикомпонентного прядильного раствора для нанесения нановолокнистого раневого покрытия, а также рациональные режимы его наработки, обеспечивающие стабильность протекания

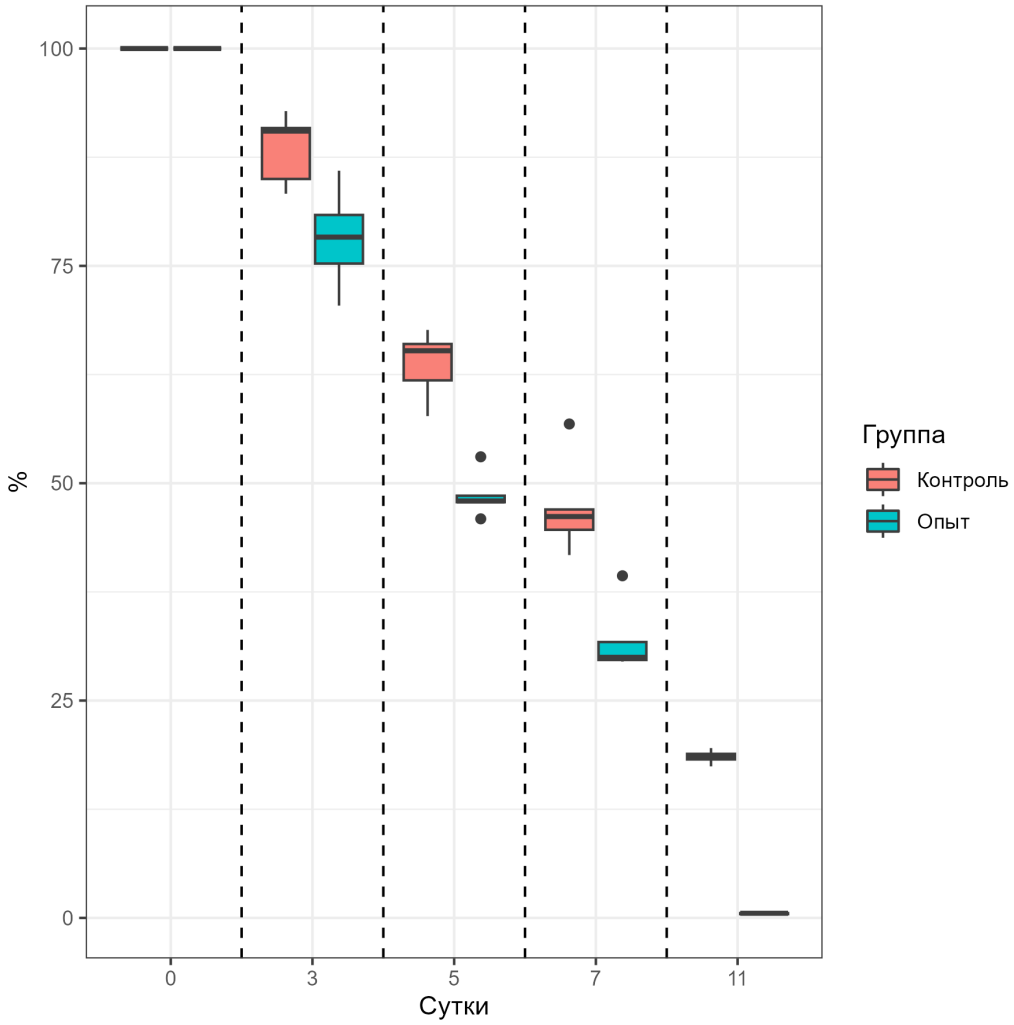


Рисунок 2 – Коробчатые диаграммы заживления ран в опытной и контрольной группах (временные срезы, в процентах)
Figure 2 – Box plots of wound healing in the experimental and control groups (temporal cross-section, in percentages)

процесса электроформования.

В роли подложки для получения перевязочного сорбирующего материала с нановолокнистым покрытием был выбран нетканый материал спанлейс, для повышения сорбционных свойств которого предложена пропитка раствором альгината натрия.

Анализ изображений микроструктуры образцов показал, что полученные материалы отличались равномерностью нанесения нановолокон и их хаотичной структурой с наличием небольших дефектов, что свидетельствует об эффективности предлагаемой технологии получения нановолокнистого раневого покрытия.

Исследования заживляющих свойств сорбирующих раневых нановолокнистых покрытий, проведенные на основании изучения процессов регенерации полнослойных кожных ран половозрелых нелинейных белых крыс, показали достоверно статистически значимое ускорение заживления экспериментальных кожных ран при использовании разработанных раневых покрытий, что подтверждается рядом значимых признаков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абаев, Ю.К. (2005). *Хирургическая повязка*. Минск: Беларусь, Республика Беларусь.

Бровко, О.С., Паламарчук И.А., Горшкова, Н.А., Богданович, Н.И. и Ивахнов, А.Д. (2023). Сорбционно-структурные свойства аэрогельных материалов на основе биополимеров. *Известия вузов. Лесной журнал*, Том № 6, С. 190–203.

Гебремарьям, Е.З., Химма, М.А., Олехнович, Р.О. и Успенская, М.В. (2025). Влияние свойств раствора ацетата целлюлозы/хитозана/поливинилового спирта на морфологию электроспряденых нановолокон. *Журнал Сибирского федерального университета. Химия*, Том № 18(3), С. 355–367.

Григорьян, А.Ю., Бежин, А.И., Панкрушева, Т.А. и Суковатых, Б.С. (2022). Современное представление о раневых покрытиях. *Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова*, Том № 11, С. 42–48.

Демидова, М.А., Рыклин, Д.Б. и Ясинская, Н.Н. (2025). *Технология получения водорастворимых нановолокнистых материалов методом электроформования : монография*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Капуцкий, В.Е., Абаев, Ю.К. (2001). Рациональные подходы к классификации сорбционно-активных перевязочных материалов. *Материалы третьего конгресса ассоциации хирургов имени Н. И. Пирогова*, Москва, 15–17 окт. 2001 года, С. 212.

Кудряшова, И.С., Марков, П.А., Костромина, Е.Ю., Еремин, П.С., Рачин А.П. и Гильмутдинова, И.Р. (2021). Разработка раневых покрытий для регенеративной медицины. *Вестник восстановительной медицины*, Том № 20(6), С. 84–95.

Николаев, А.Ф., Охрименко, Г.И. (1979). *Водорастворимые полимеры*. Ленинград: Л.: Химия, СССР.

Ославский, А.И. (2016). Сорбционные средства и методы в комплексном лечении гнойных ран (обзор литературы). *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*, Том № 3, С. 30–37.

Остроушко, А.П., Ян, К.С., Лаптиёва, А.Ю., Андреев, А.А., Глухов, А.А., Аралова, М.В., Микулич, Е.В. и Коновалов, П.А. (2024). Свойства, преимущества и показания к применению современных биоактивных и интерактивных раневых покрытий. *Политравма*, Том № 4, С. 92–103.

Пирниязов, К.К., Милушева, Р.Ю., Ашуров, Н.Ш. и Рашидова, С.Ш. (2026). Возможности формирования нановолокон из хитозана Bombyx mori. *Вестник Московского университета*, серия 2, Химия, Том № 67, С. 72–78.

Прокопчук, Н.Р., Меламед, В.Д., Прищепенко, Д.В., Шашок, Ж.С. и Данишевский, В.Н. (2015). Технология электроформования нановолокон из хитозана. *Сборник докладов научно-практического семинара «Волокна и волокнистые материалы специального назначения. Исследования и разработки»*, Минск, 14 июля 2015 г., С. 4–6.

Прокопчук, Н.Р., Прищепенко, Д.В. (2022). Получение нановолокон хитозана, модифицированных наночастицами металлов. *Материалы V Международного научно-технического форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке «Нефтегазохимия – 2022»*, Минск, 2–4 ноября 2022 г., С. 159–161.

Рыклин, Д.Б., Демидова, М.А. и Карнилов, М.С. (2024a). Оценка паропроницаемости раневых повязок с нановолокнистым покрытием. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Том № 2 (48), с. 18–27.

Рыклин, Д.Б., Демидова, М.А., Карнилов, М.С. (2024b). Влияние межэлектродного расстояния на морфологию электроформованных нановолокнистых материалов. *Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления: сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума IV Международного Косыгинского Форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета»*, Том 1, С. 283–287.

Рыклин, Д.Б., Карнилов, М.С. и Демидова, М.А. (2025). Влияние состава прядильного раствора хитозана и поливинилового спирта на режимы процесса электроформования. *Материалы Международной научно-технической конференции «Современные экологически чистые инновационные технологии получения новых функциональных полимерных волокнистых и наноматериалов (Костандовские чтения)»*, Москва, 26–27 ноября 2025 г., С. 154–157.

Седанова, А.В., Корниенко, Н.В., Пьянова, Л.Г., Делягина, М.С. и Лавренов, А.В. (2025). Влияние добавок аминокислот на свойства углеродного сорбента, модифицированного салициловой кислотой. *Физикохимия поверхности и защита материалов*, Том 61(1), С. 3–10.

Ушмаров, Д.И., Гуменюк, С.Е., Григорьев, Т.Е., Шокель, О.Ю., Исянова, Д.Р. и Чумаков, П.И. (2024). Влияние химической сшивки глутаровым альдегидом на сорбционные параметры раневых покрытий на основе хитозана. *Медицинский вестник Северного Кавказа*, Том № 19(3), С. 243–246.

Цыганков, П.Ю., Абрамов, А.А., Бозорова, А.А., Евдокимова, С.А. и Меньшутина, Н.В. (2025). Процессы получения гибридных аэрогелей альгинат-хитозана и исследование их антибактериальной активности. *Современные наукоёмкие технологии. Региональное приложение*, том № 83, Часть 3, С. 132–139.

Chagas, P.A.M., Schneider, R., Santos, D.M., Otuka, A.J.G., Mendoca, C.R. and Correa, D.S. (2021). Bilayered electrospun membranes composed of poly(lactic-acid)/natural rubber: A strategy against curcumin photodegradation for wound dressing application. *Reactive and Functional Polymers,* vol. 163, art. 104889.

Gao, Z., Su, C., Wang, C., Zhang, Y., Wang., C., Yan, H. and Hou, G. (2021). Antibacterial and hemostatic bilayered electrospun nanofibrous wound dressings based on quaternized silicone and quaternized chitosan for wound healing. *European Polymer Journal*, vol. 159, art. 110733.

Haider, A., Haider, S. and Kang, I.K. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 11, pp. 1165–1188.

Hermenegildo, B., Ribeiro, C., Perinka, N., Martins, P., Trchova, M., Hajna, M., Stejskal, J. and Lanceros-Mendez, S. (2022). Electroactive poly (vinylidene fluoride) electrospun fiber mats coated with polyaniline and polypyrrole for tissue regeneration applications. *Reactive and Functional Polymers*, vol. 170, art. 105118.

Mogoşanu, G.D., Grumezescu, A.M. (2014). Natural and synthetic polymers for wounds and burns dressing. *Int J Pharm*, vol. 463(2), pp. 27–36.

Pillai, M.M., Dandia, H., Checker, R., Rokade, S., Sharma, D. and Tayalia, P. (2021). Novel combination of bioactive agents in bilayered dermal patches provides superior wound healing. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, vol. 40, Art. 102495.

Stace, E.T., Mouthuy, P.A., Carr, A.J. and Ye, H.C. (2019). Biomaterials: Electrospinning. *Comprehensive Biotechnology (Third Edition)*, vol. 5, pp. 424–441.

Wang, H.S. (2009). Functional polymeric nanofibers from electrospinning. *Recent Patents on Nanotechnology*, vol. 3, pp. 21–31.

Wang, X., Shan, C., Huang, R., Penkova, A. and Su, R. (2025). Chitosan and chitosan nanofibers in wound dressings, from material preparation to functional design: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 333, part 2, art. 148937.

Yu, H., Chen, D., Lu, W., Zhang, C., Wang, H., Peng, Z., Jiang, H. and Xiao, C. (2025). Characterization of polyvinyl alcohol/chitosan nanofibers loaded with royal jelly by blending electrospinning for potential wound dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 307, Part 2, art. 141977.

REFERENCES

Abaev, Yu.K. (2005). *Surgical dressing* [Khirurgicheskaya povyazka]. Minsk: Belarus, Republic of Belarus (In Russian).

Brovko, O.S., Palamarchuk, I.A., Gorshkova, N.A., Bogdanovich, N.I. and Ivakhnov, A.D. (2023). Sorption-structural properties of aerogel materials based on biopolymers [Sorbtsionno-strukturnye svoystva aerogel'nykh materialov na osnove biopolimerov]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal = Lesnoy Journal*, vol. 6, pp. 190–203 (In Russian).

Gebremariam, E.Z., Khimma, M.A., Olekhnovich, R.O. and Uspenskaya, M.V. (2025). Influence of the properties of cellulose acetate/chitosan/polyvinyl alcohol solution on the morphology of electrospun nanofibers [Vliyanie svoystv rastvora atsetata tsellyulozy/khitozana/polivinilovogo spirta na morfologiyu elektrospryadenykh nanovolokon]. *Zhurnal Sibirskogo*

federal'nogo universiteta. Khimiya = Journal of Siberian Federal University. Chemistry, vol. 18(3), pp. 355–367 (In Russian).

Grigoryan, A.Yu., Bezhin, A.I., Pakrusheva, T.A. and Sukovatykh, B.S. (2022). Modern understanding of wound dressings [Sovremennoe predstavlenie o ranevykh pokrytiyakh]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova = Surgery. Journal named after N.I. Pirogov*, vol. 11, pp. 42–48 (In Russian).

Chagas, P.A.M., Schneider, R., Santos, D.M., Otuka, A.J.G., Mendoca, C.R. and Correa, D.S. (2021). Bilayered electrospun membranes composed of poly(lactic-acid)/natural rubber: A strategy against curcumin photodegradation for wound dressing application. *Reactive and Functional Polymers*, vol. 163, art. 104889.

Demidova, M.A., Ryklin, D.B. and Yasinskaya, N.N. (2025). *Tekhnologiya polucheniya vodorastvorimykh nanovoloknistykh materialov metodom elektroformovaniya: monografiya* [Technology for producing water-soluble nanofibrous materials by electrospinning: monograph]. Vitebsk: Educational Institution "VSTU", Republic of Belarus (In Russian).

Gao, Z., Su, C., Wang, C., Zhang, Y., Wang., C., Yan, H. and Hou, G. (2021) Antibacterial and hemostatic bilayered electrospun nanofibrous wound dressings based on quaternized silicone and quaternized chitosan for wound healing. *European Polymer Journal*, vol. 159, art. 110733.

Haider, A., Haider, S. and Kang, I.K. (2018). A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 11, pp. 1165–1188.

Hermenegildo, B., Ribeiro, C., Perinka, N., Martins, P., Trchova, M., Hajna, M., Stejskal, J. and Lanceros-Mendez, S. (2022). Electroactive poly (vinylidene fluoride) electrospun fiber mats coated with polyaniline and polypyrrole for tissue regeneration applications. *Reactive and Functional Polymers*, vol. 170, art. 105118.

Kaputsky, V.E. and Abaev, Yu.K. (2001). Rational approaches to the classification of sorption-active dressing materials [Ratsional'nye podkhody k klassifikatsii sorbtsionno-aktivnykh perevyazochnykh materialov]. *Materialy tret'ego kongressa assotsiatsii khirurgov imeni N.I. Pirogova = Proceedings of the 3rd Congress of the Association of Surgeons named after N.I. Pirogov*, Moscow, 15–17 October 2001, p. 212 (In Russian).

Kudryashova, I.S., Markov, P.A., Kostromina, E. Yu., Eremin, P.S., Rachin, A.P. and Gilmutdinova, I.R. (2021). Development of wound dressings for regenerative medicine [Razrabotka ranevykh pokrytiy dlya regenerativnoy meditsiny]. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny = Bulletin of Rehabilitation Medicine*, vol. 20(6), pp. 84–95 (In Russian).

Mogoşanu, G.D., Grumezescu, A.M. (2014). Natural and synthetic polymers for wounds and burns dressing. *Int J Pharm*, vol. 463(2), pp. 27–36.

Nikolaev, A.F. and Okhrimenko, G.I. (1979). *Vodorastvorimye polimery* [Water-soluble polymers]. Leningrad: L.: Chemistry, USSR (In Russian).

Oslavsky, A.I. (2016). Sorption means and methods in the complex treatment of purulent wounds (literature review) [Sorbtsionnye sredstva i metody v kompleksnom lechenii gnoinykh ran (obzor literatury)]. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta = Journal of the Grodno State Medical University*, vol. 3, pp. 30–37 (In Russian).

Ostroushko, A.P., Yan, K.S., Laptiyeva, A.Yu., Andreev, A.A., Glukhov, A.A., Aralova, M.V., Mikulich, E.V. and Konovalov, P.A. (2024). Properties, advantages and indications for the use of modern bioactive and interactive wound dressings [Svoystva, preimushchestva i pokazaniya k primeneniyu sovremennykh bioaktivnykh i interaktivnykh ranevykh pokrytiy]. *Politravma = Polytrauma*, vol. 4, pp. 92–103 (In Russian).

Pirniyazov, K.K., Milusheva, R.Yu., Ashurov, N.Sh. and Rashidova, S.Sh. (2026). Possibilities of forming nanofibers from Bombyx mori chitosan [Vozmozhnosti formirovaniya nanovolokon iz khitozana Bombyx mori]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 2. Khimiya = Moscow University Chemistry Bulletin*, vol. 67, pp. 72–78 (In Russian).

Pillai, M.M., Dandia, H., Checker, R., Rokade, S., Sharma, D. and Tayalia, P. (2021). Novel combination of bioactive agents in bilayered dermal patches provides superior wound healing. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, vol. 40, Art. 102495.

Prokopchuk, N.R., Melamed, V.D., Prishchepenko, D.V., Shashok, Zh.S. and Danishevsky, V.N. (2015). Technology of electrospinning of chitosan nanofibers [Tekhnologiya elektroformovaniya nanovolokon iz khitozana]. *Sbornik dokladov*

nauchno-prakticheskogo seminara "Volokna i voloknistye materialy spetsial'nogo naznacheniya. Issledovaniya i razrabotki" = Collection of reports of the scientific-practical seminar "Fibers and fibrous materials for special purposes. Research and development", Minsk, 14 July 2015, pp. 4–6 (In Russian).

Prokopchuk, N.R. and Prishchepenko, D.V. (2022). Production of chitosan nanofibers modified with metal nanoparticles [Poluchenie nanovolokon khitozana, modifitsirovannykh nanochastitsami metallov]. *Materialy V Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke "Neftegazokhimiya – 2022" = Proceedings of the 5th International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Refining "Petrochemistry – 2022"*, Minsk, 2–4 November 2022, pp. 159–161 (In Russian).

Ryklin, D.B., Demidova, M.A. and Karnilov, M.S. (2024a). Evaluation of water vapor permeability of wound dressings with nanofiber coating [Otsenka paropronitsaemosti ranevykh povyazok s nanovoloknistym pokrytiem]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, vol. 2, no. 48, pp. 18–27 (In Russian).

Ryklin, D.B., Demidova, M.A. and Karnilov, M.S. (2024b). The effect of interelectrode distance on the morphology of electrospun nanofibrous materials [Vliyanie mezhelektrodnogo rasstoyaniya na morfologiyu elektroformovannykh nanovoloknistykh materialov]. *Sovremennye inzhenernye problemy v proizvodstve tovarov narodnogo potrebleniya: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo simpoziuma IV Mezhdunarodnogo Kosyginskogo Foruma «Problemy inzhenernykh nauk: formirovanie tekhnologicheskogo suvereniteta» = Modern engineering problems in the production of consumer goods: collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium of the 4th International Kosygin Forum "Problems of Engineering Sciences: Formation of Technological Sovereignty"*, vol. 1, pp. 283–287 (In Russian).

Ryklin, D.B., Karnilov, M.S. and Demidova, M.A. (2025). Influence of the composition of the spinning solution of chitosan and polyvinyl alcohol on the modes of the electrospinning process [Vliyanie sostava pryadil'nogo rastvora khitozana i polivinilovogo spirta na rezhimy protsessa elektroformovaniya]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Sovremennye ekologicheski chistye innovatsionnye tekhnologii polucheniya novykh funktsional'nykh polimernykh voloknistykh i nanomaterialov (Kostandovskie chteniya)» = Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Modern environmentally friendly innovative technologies for producing new functional polymeric fibrous and nanomaterials (Kostandov Readings)"*, Moscow, 26–27 November 2025, pp. 154–157 (In Russian).

Sedanova, A.V., Kornienko, N.V., P'yanova, L.G., Delyagina, M.S. and Lavrenov, A.V. (2025). Effect of amino acid additives on the properties of carbon sorbent modified with salicylic acid [Vliyanie dobavok aminokislot na svoystva uglerodnogo sorbenta, modifitsirovannogo salitsilovoy kislotoy]. *Fizikokhimiya poverkhnosti i zashchita materialov = Physicochemistry of Surfaces and Protection of Materials*, vol. 61, no. 1, pp. 3–10 (In Russian).

Ushmarov, D.I., Gumenyuk, S.E., Grigoriev, T.E., Shokel, O.Yu., Isyanova, D.R. and Chumakov, P.I. (2024). Influence of chemical cross-linking with glutaraldehyde on the sorption parameters of chitosan-based wound dressings [Vliyanie khimicheskoy sshivki glutarovym al'degidom na sorbtsionnye parametry ranevykh pokrytiy na osnove khitozana]. *Meditsinskiy vestnik Severnogo Kavkaza = Medical Bulletin of the North Caucasus*, vol. 19(3), pp. 243–246 (In Russian).

Stace, E.T., Mouthuy, P.A., Carr, A.J. and Ye, H.C. (2019). Biomaterials: Electrospinning. *Comprehensive Biotechnology (Third Edition)*, vol. 5, pp. 424–441.

Tsygankov, P.Yu., Abramov, A.A., Bozorova, A.A., Evdokimova, S.A. and Menshutina, N.V. (2025). Processes for obtaining hybrid alginate-chitosan aerogels and study of their antibacterial activity [Protsessy polucheniya gibridnykh aerogeley al'ginat-khitozana i issledovanie ikh antibakterial'noy aktivnosti]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie = Modern High Technologies. Regional Supplement*, vol. 83, part 3, pp. 132–139 (In Russian).

Wang, H.S. (2009). Functional polymeric nanofibers from electrospinning. *Recent Patents on Nanotechnology*, vol. 3, pp. 21–31.

Wang, X., Shan, C., Huang, R., Penkova, A. and Su, R. (2025). Chitosan and chitosan nanofibers in wound dressings, from material preparation to functional design: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 333, part 2, art. 148937.

Yu, H., Chen, D., Lu, W., Zhang, C., Wang, H., Peng, Z., Jiang, H. and Xiao, C. (2025). Characterization of polyvinyl alcohol/chitosan nanofibers loaded with royal jelly by blending electrospinning for potential wound dressings. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 307, Part 2, art. 141977.

Информация об авторах

Карнилов Михаил Сергеевич
Ассистент кафедры «Информационные системы и технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: alphamiha@mail.ru

Рыклин Дмитрий Борисович
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: ryklin-db@mail.ru

Меламед Владимир Дмитриевич
Кандидат медицинских наук, доцент кафедры хирургических болезней № 2, Гродненский государственный медицинский университет, Республика Беларусь.
E-mail: alllotransplan@mail.ru

Демидова Мария Александровна
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Маркетинг и финансы», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: demidova.mariya00@gmail.com

Information about the authors

Mikhail S. Karnilau
Assistant of the Department "Information Systems and Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: alphamiha@mail.ru

Dzmitry B. Ryklin
Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: ryklin-db@mail.ru

Vladimir D. Melamed
Candidate of Sciences (in Medicine), Associate Professor of the Department of Surgical Diseases No. 2, Grodno State Medical University, Republic of Belarus.
E-mail: alllotransplan@mail.ru

Mariya A. Demidova
Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Lecturer of the Department "Marketing and Finance", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: demidova.mariya00@gmail.com

УДК 685.34.073.22 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-33-42

Критерии оценки качества подошв из термоэластопластов

М. А. Нейфельд, А. Ю. Феоктистова, А. Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. Современный ассортимент обуви отличается разнообразием применяемых материалов, в том числе и для подошв обуви. Однако существующая нормативная база, разработанная в семидесятых годах прошлого века, распространяется на резины, что в настоящее время не совсем актуально, ввиду применения разнообразных материалов для подошв обуви. Наиболее популярными являются термоэластопласт, полиуретан, термополиуретан и иные материалы. Резина мало применима в качестве подошв для повседневной обуви и в основном применяется для рабочей обуви. Казалось бы, что разработка новых, усовершенствованных материалов должна исключить дефектность обуви, но анализ литературных источников указывает на то, что проблемы отказа обуви по дефектам низа остаются актуальными до сих пор.

В связи с тем, что подошвы обуви в большинстве случаев поставляются на обувные предприятия в готовом виде, то имеется необходимость в особом контроле данных деталей. Ведь подошва – это наиболее важная деталь обуви, без которой обувь не может существовать. Данная деталь подвергается большим нагрузкам, таким как сжатие, растяжение и изгиб, всё это происходит совместно с истиранием, что в свою очередь может приводить к отказам обуви из-за появления таких дефектов как протёртости (дыры) и трещины. Они являются основными причинами возврата обуви.

Поэтому есть необходимость в тщательном исследовании подошв перед постановкой их на производство с применением лабораторных установок в той или иной степени имитирующих эксплуатационные воздействия на подошву.

Цель исследования заключается в обосновании критериев качества подошв обуви и их оценке по шкале желательности.

В статье представлен литературный обзор по рассматриваемой проблеме и предлагаются критерии для оценки качества современных подошв обуви. Предложены шкалы желательности для показателей сопротивление истиранию и сопротивление многократному изгибу, а также функции желательности. Произведена оценка изучаемых подошв по предложенной шкале желательности.

Ключевые слова: качество подошв, термоэластопласты, критерии оценки, сопротивление истиранию, сопротивление многократному изгибу.

Информация о статье: поступила 11 июня 2026 года.

Criteria for assessing the quality of thermoelastoplastic soles

Maria A. Neufeld, Albina Yu. Feoktistova, Alexander N. Burkin

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. The modern range of shoes is characterized by a variety of materials used, including those for shoe soles. However, the existing regulatory framework, developed in the 1970s, applies to rubbers, which is currently not entirely relevant due to the use of a variety of materials for shoe soles. The most popular are thermoplastics, polyurethane, thermopolyurethane and other materials. Rubber is of little use as soles for everyday shoes and is mainly used for work shoes. It would seem that the development of new, improved materials should eliminate shoe defects, but the literature analysis indicates that the problems of shoe failure due to defects in the bottom remain relevant to this day.

Since shoe soles in most cases are supplied to shoe companies in ready-made form, there is a need for special control of these parts. After all, the sole is an integral component of a shoe. This part is subjected to heavy loads such as compression, stretching and bending, all of which occur in conjunction with abrasion, which in turn can lead to shoe failures due to the appearance of defects such as scuffs (holes) and cracks. They are the main reasons for shoe returns. Therefore, there is a need for a thorough study of soles before launching their production using laboratory installations that simulate the

operational effects on the sole to some extent.
The purpose of the study is to substantiate the criteria for the quality of shoe soles and evaluate them on a desirability scale. The article provides a literature review on the problem under consideration and suggests criteria for assessing the quality of modern shoe soles. Desirability scales are proposed for indicators of abrasion resistance and resistance to repeated bending, as well as desirability functions. The soles under study were evaluated according to the proposed desirability scale.
Keywords: sole quality, thermoelastoplastics, evaluation criteria, abrasion resistance, and multi-bending resistance.
Article info: received June 11, 2026.

Введение

Обувная индустрия демонстрирует стабильный рост. По прогнозам, к 2027 году мировой рынок обуви будет оцениваться в 365,5 млрд долларов США. Такой значительный рост может быть связан с высоким спросом на обувь в различных отраслях промышленности. Для повышения глобальной конкурентоспособности обувной промышленности важно максимально повышать качество продукции (Chuenyindee et al., 2022).

Одним из важнейших эксплуатационных свойств обуви является износ деталей низа. Износ монолитной подошвы заключается, прежде всего, в потере толщины в определённых зонах: в пяточной и носочно-пучковой. Износ подошвенных материалов обычно выражают потерей толщины подошвы Δh (мм) за время изнашивания τ (дни, часы). Удельные давления γ (кгс/см^2), возникающие в зоне контакта подошвы с опорой при ходьбе и беге, являются основным фактором при её изнашивании (Закатова и Михеева, 1966). На износ подошв при эксплуатации обуви большое влияние оказывают вес человека и особенности его походки, а также характер опорной поверхности и материал, из которого она изготовлена.

Износ полимерных подошв при эксплуатации связан не только с потерей толщины, но и проявляется в виде изломов и выкрашиваний. Излом обычно наблюдается в носочно-пучковой части изгиба подошвы, т. е. в участке наибольших деформаций, и возникающих при этом напряжений в структуре материалов. Однако до излома образуются трещины по всей площади носочно-пучковой части подошвы при многократно чередующихся деформациях изгиба и растяжения. Выкрашивание полимерных подошв происходит, как правило, в каблучной части подошвы в виду больших значений удельного давления, сочетающегося с ударными нагрузками.

В прошлом столетии советскими учёными такие работы проводились системно путём испытаний обуви в опытной носке с одновременными исследованиями в лабораторных условиях материалов и подошв через определённые периоды эксплуатации (Михеева, Мореходов, Швецова, 1989). Эти работы проводились на базе лабораторий ЦНИИКПа и имели большие выборки при испытаниях: от сотен до десятков тысяч пар обуви. Достаточно хорошо были изучены эксплуатационные свойства резин и натуральных кож для подошв обуви. Результаты проведённых работ послужили основой для создания методов, позволяющих в лабораторных условиях оценивать устойчивость материалов к разрушающим воздействиям в процессе носки обуви.

Основными дефектами (или видами износа) низа обуви клеевого метода крепления согласно «Обзорной информации. Пошив и ремонт обуви и кожгалантерейных изделий по заказам населения» (Любич, Маковская и Семенова, 1971), являлись: истирание подошвы (29,1 %, в том числе 13,9 % приходилось на истирание до дыр), выкрашивание (0,3 %), истирание профилактической подмётки (1,5 %), излом подошвы (0,9 %), износ набойки (33,9 % от общего количества дефектов).

Как отмечает Долган М. И. в своей публикации (Долган, Коновалов, 2011) в общей массе предоставленной в ремонт обуви около половины связаны с установлением профилактики вследствие её износа, а также устранением иных дефектов подошв обуви (трещин, переломов, расслоением и выкрашиванием фрагментов подошв). Таким образом, проблема дефектов, связанных с деталями низа обуви является актуальной до сих пор.

На рынке появилось достаточное количество новых полимерных материалов для низа обуви. Однако проблемы качества выпускаемой продукции не потеряли своего значения (Нейфельд, Буркин и Долган, 2025). Ассортиментный ряд материалов всё расширяется и в настоящее время наиболее часто используемыми материалами при производстве обуви являются: термоэластопласты, полиуретаны, термополиуретаны и другие.

В создании рациональных методов анализа свойств материалов, разработке обоснованных требований к

ним и в повышении качества готовой обуви большую роль играет всестороннее исследование процесса износа новых подошвенных полимерных материалов. Износ обуви необходимо рассматривать как сложный процесс биомеханики ходьбы человека, в системе «стопа – обувь – опора». По проведённым исследованиям в 2005 году (Oleson, Adler and Goldsmith, 2005) было определено, что жёсткость носочно-пучковой части обуви относительно постоянна в процессе носки и значительно варьируется в зависимости конструктивных особенностей моделей обуви. Авторы статьи также предполагают, что колебания жёсткости обуви на изгиб могут быть некритичными для бега. Стоит отметить, что в данном исследовании объектом была обувь спортивного стиля, а для данной обуви характерно использование легкого и в большинстве случаев пористого или двухслойного (монолитно-пористого) материала. Поэтому распространять результаты данного исследования на все виды обуви и, в частности, на повседневную обувь, полностью нельзя.

Исследователями (Al-Shamsi, Farooq, Al-Raisi and AlSenoy, 2026) было установлено, что различные виды обуви оказывают влияние на биомеханику ходьбы. Соответственно можно наблюдать разнообразные адаптации походки в зависимости от носимого типа обуви.

Исследователями в статье (Reints et al., 2017; Chen et al., 2014; Kouwenhove L. van et al., 2021) проведён анализ влияния жёсткости на изгиб обуви с подошвой, имеющей приподнятую носочную часть (рисунок 1).

Плечо момента силы (рычага) зависит от положения голеностопного сустава, центра давления, направления силы реакции опоры и тыльного сгибания пальцев ног.

Стоит отметить, что большинство зарубежных исследований рассматривает процесс взаимодействия в системе «стопа – обувь – опора» с применением элементов исследования в экспериментальной носке, т. е. с привлечением испытателей.

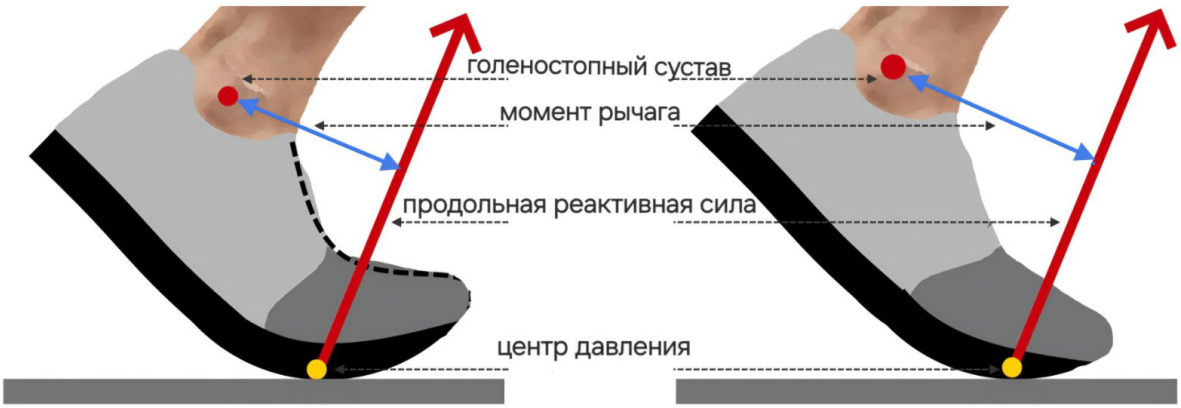
Тем не менее, количественные методы качества подошв должны учитываться при постановке продукции на производство и выборе материалов.

В связи с вышесказанным целью исследования является обоснование критериев для оценки качества подошв обуви и оценки их значений по шкале желательности.

Материал и средства исследований

Объектами исследования в данной статье являлись подошвы из термоэлатопласта (рисунок 2). Они имеют монолитную и пористую структуру и использовались при производстве обуви в 2021–2023 годах для повседневной обуви осенне-весеннего периода носки мужского и женского ассортимента.

Перед тем как приступить к испытаниям, было проведено анкетирование среди сотрудников УО «ВГТУ»,



а *б (b)*

Рисунок 1 – Схематическое изображение фазы отталкивания при ходьбе в обуви: а – с низким усилием на стопу; б – с высоким усилием на стопу
Figure 1 – Schematic representation of the pushing phase when walking in shoes: a – with low force on the foot; b – with high force on the foot



Рисунок 2 – Внешний вид объектов исследования
Figure 2 – Appearance of the objects under study

которое позволило выявить наиболее значимые показатели для оценки качества подошв. Опрашиваемым была предложена анкета, где они должны были расставить ранги, где 1 – наиболее важный показатель, а 7 – наименее важный. Распределение мнений по сумме рангов для монолитных образцов было следующим:

1) сопротивление многократному изгибу;
2) сопротивление истиранию;
3) условная прочность при растяжении;
4) твёрдость;
5) плотность;
6) относительная остаточная деформация после разрыва;
7) остаточное удлинение при разрыве.

Для пористых подошв распределение было следующим:

1) сопротивление истиранию;
2) сопротивление многократному изгибу;
3) твёрдость;
4) условная прочность при растяжении;
5) плотность;
6) относительная остаточная деформация после разрыва;
7) остаточное удлинение при разрыве.

Эксплуатационные показатели, такие как сопротивление многократному изгибу и сопротивление истиранию, являются наиболее важными для прогнозирования срока службы при непосредственной носке. Поэтому основными критериями для оценки качества подошв выбраны сопротивление многократному изгибу и сопротивление истиранию.

При исследовании эксплуатационных свойств ГОСТ 7926-75 устанавливает использование следующих методик: для определения сопротивления истиранию при скольжении – ГОСТ 426-77, для определения сопротивления многократному растяжению – по ГОСТ 261-74 для пористых материалов, для определения сопротивления многократному изгибу – по ГОСТ 422-75 для непористых и кожеподобных материалов. В настоящее время для определения многократного изгиба вне зависимости от структуры подошв предлагается использовать методику по ГОСТ ISO 17707-2016 «Обувь. Методы испытания подошв. Устойчивость к многократному изгибу».

Для проведения испытания отобранные подошвы склеивали с картонной стелькой соответствующей формы и размеру подошвы с помощью клея и выдерживали в течение 24 часов. На образцах размечали продольную ось подошвы и линию сгиба, после чего они закреплялись в приборе (рисунок 3) и производили прокол (рисунок 4).

После чего прибор запускается на определённое количество циклов изгибания, которое задано стандартом (30000 циклов) или заказчиком испытания. По завершению испытания фиксируют длину разрастания трещины



а *б (b)*

Рисунок 3 – Внешний вид установки для испытания с закреплёнными образцами подошв: а – вид спереди; б – вид сбоку
Figure 3 – Appearance of the testing device with fixed sole samples: a – front view; b – side view

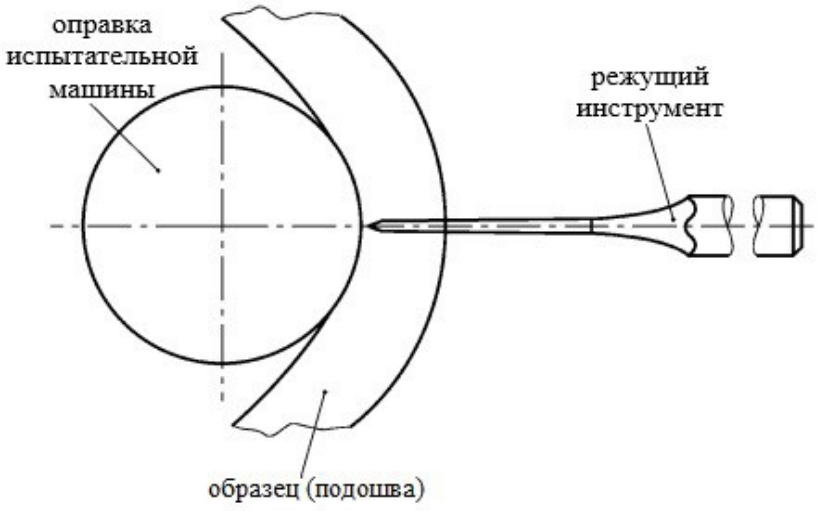


Рисунок 4 – Схема прокола образца
Figure 4 – Sample puncture diagram

и отмечают появления самопроизвольных трещин.

Изгиб – это один из факторов, вызывающих износ, и проявляющихся, в большинстве случаев, в образовании трещин на подошвах. Однако износ также может проявляться в появлении утончённых участков на поверхности подошвы и сквозных отверстий. В лабораторных условиях он определяется показателем – сопротивление истиранию при скольжении по ГОСТ 426-77. Конечно, как и на любое другое лабораторное испытание влияет множество факторов и это испытание не исключение. В данном случае оказывают влияние следующие факторы: окружающая среда, скорость скольжения и темпе-

ратуры, геометрия и теплофизические свойства истирающей поверхности, режимы испытания и др.

Испытания проводились по усовершенствованной нами методике (Нейфельд, Буркин, 2024; Нейфельд, Буркин, 2025), которая заключалась в определённой последовательности подготовки образцов к испытанию и его проведении, которое заключалось в изменении положения образцов через 150 секунд испытания.

Результаты исследований

Для шести видов подошв (3 монолитных и 3 пористых (рисунок 2)) особо сложной конструкции как внутреннего пространства, так и рифлений были проведены испытания по оценке показателя сопротивление многократному изгибу и сопротивление истиранию. В результате проведённых исследований установлено, что все отобранные подошвы отвечают требованиям стандартов, а именно выдерживают 30000 циклов (по ГОСТ ISO 17707-2016) и имеют сопротивление истиранию более 2,5 Дж/мм^3 (по ГОСТ 12632-79 «Пластины и детали резиновые пористые для низа обуви» и по ГОСТ 10124-76 «Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви»).

Если показатель сопротивление истиранию по ГОСТ 426-77 имеет установленные границы значения критерия его оценки, то касаемо сопротивления многократному изгибу все не так однозначно. В ГОСТ 10124-76 и ГОСТ 12632-79 даются следующие нормативные значения: 13000 циклов (для монолитных) и 8500 циклов (для пористых). Как говорилось ранее, определение данного показателя зависело от структуры материала и соответственно сравнивать результаты полученных данных было невозможно. Методика по ГОСТ ISO 17707-2016 позволяет проводить испытания и оценивать подошвы как монолитной, так и пористой структуры, считая их равнозначными с точки зрения эксплуатации. Однако достаточно ли 30000 циклов для оценки, если потребитель в праве заявить претензию к качеству обуви в течение двух лет, согласно статье 20 Закона Республики Беларусь «О защите прав потребителей». В среднем человек проходит в день от 5000 до 10000 шагов, и испытания на лабораторной установке жёстче, так как угол изгиба составляет около 90°, а при ходьбе около 25°. С этой целью испытание на многократный изгиб в данном эксперименте проводился до 100000 циклов с проверкой образцов через 30000 и 60000.

Для комплексной оценки качества подошв был использован критерий $\boldsymbol{D}$, в данном случае критерии $\boldsymbol{d_1}$ и $\boldsymbol{d_2}$ равнозначные и безразмерные (1):

$$\boldsymbol{D = \sqrt{d_1 \cdot d_2} \rightarrow max}\ , \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{d_1}$ – безразмерные значения показателя сопротивления истиранию; $\boldsymbol{d_2}$ – безразмерные значения показателя сопротивление многократному изгибу.

В основе построения лежит принцип преобразования натуральных значений показателей в безразмерную шкалу желательности. При построении шкалы желательности можно пользоваться таблицами соответствия между отношениями предпочтения в эмпирической и психологической системах (Адлер, Маркова и Грановский, 1976; Буркин и Шеремет, 2017). Расчётные данные для построения приведены в таблице 1. Их визуальные представления на рисунке 5.

Функция желательности описывается уравнениями вида:

$$\boldsymbol{d_1 = exp\{-1/(0.085 + 0.366\beta)\}}\ , \qquad (2)$$

$$\boldsymbol{d_2 = exp\{-1/(-0,491429 + 0.00004971N)\}}\ . \qquad (3)$$

В таблице 2 представлены данные по оценке качества подошв, включая результаты, полученные при испытании образцов на сопротивление истиранию, которые свидетельствуют о достаточном уровне показателей их эксплуатационных свойств.

Ни у одного образца не произошло разрастание трещин и все отобранные образцы выдержали испытания в 100000 циклов. Показатель сопротивления истиранию варьировался от 3,62 до 3,68 у монолитных образцов и от 4,25 до 7,09 Дж/мм^3 – у пористых.

По полученным данным сотрудники предприятия должны принимать компромиссное решение о постановке продукции на производство даже в том случае, если при многократном изгибе свыше 30000 произошло незначительное разрастание прокола и появились самопроизвольные трещины.

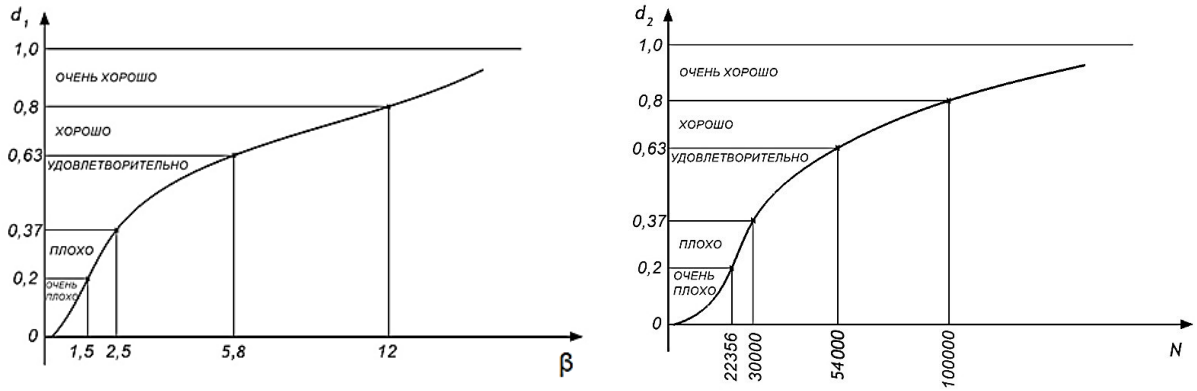
Выводы

Для оценки качества подошв были выбраны следующие критерии: сопротивление многократному изгибу и сопротивление истиранию, которые позволяют достоверно оценить эксплуатационные свойства.

Проведённая оценка по шкале желательности и значения критерия позволяют использовать данные подошвы в производстве обуви. Однако стоит отме-

Таблица 1 – Данные для построения шкалы желательности
Table 1 – Data for constructing a desirability scale

Желательность значения критерия	Оценка по шкале желательности d_1, d_2	β, Дж/мм^3	N, циклы
Очень хорошо	0,80–1,00	>12,0	>100000
Хорошо	0,63–0,80	5,8–12,0	54000–100000
Удовлетворительно	0,37–0,63	2,5–5,8	30000–54000
Плохо	0,20–0,37	1,5–2,5	22000–30000
Очень плохо	0,00–0,20	<1,5	<22000



а *б (b)*

Рисунок 5 – Шкала желательности для показателей:
а – сопротивление истиранию; б – сопротивление многократному изгибу
Figure 5 – Desirability scale for indicators:
a – resistance to abrasion; b – resistance to repeated bending

Таблица 2 – Преобразование и обобщение отклика
Table 2 – Response transformation and summarization

Монолитные					Пористые				
№	d_1	d_2	Оценка по шкале желательности, D	Желательность значения критерия	№	d_1	d_2	Оценка по шкале желательности, D	Желательность значения критерия
1	0,49	0,8	0,626	Удовлетворительно	1	0,54	0,8	0,657	Хорошо
2	0,49	0,8	0,626	Удовлетворительно	2	0,65	0,8	0,721	Хорошо
3	0,50	0,8	0,632	Хорошо	3	0,69	0,8	0,743	Хорошо

тить, что монолитные подошвы под номером 1 и 2 имеют достаточно близкие значения к границе «хорошо» по обобщённой оценке желательности, поэтому решение о постановке данных подошв на производство обуви должно приниматься ответственными сотрудниками предприятий.

Оценивая результаты испытания на многократный изгиб, можно сделать вывод, что ресурс испытуемых подошв значительно больше, чем норма, установленная в стандарте, так как они выдержали до 100000 циклов испытаний. Для получения более объективной информации о последующем поведении подошв в процессе эксплуатации целесообразно проводить испытания до 100000 циклов. Это может минимизировать количество отказов обуви по данному дефекту в течение первых двух лет эксплуатации обуви, за счёт правильного решения о пригодности подошвы к тому или иному виду обуви.

Подобный подход к оценке свойств известных ТЭП может быть в дальнейшем использован при разработке новых материалов по схеме «состав – свойства», а также использован для других полимерных материалов, так как границы желательности значения критерия были выбраны не случайно, а по анализу литературных источников от 60-х годов XX века и заканчивая современными представлениями о свойствах полимерных материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Адлер, Ю.П., Маркова, Е.В. и Грановский, Ю.В. (1976). *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий*. Москва: «Наука», СССР.

Буркин, А.Н., Шеремет, Е.А. (2017). *Формоустойчивость обуви*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь

Долган, М.И., Коновалов К.Г. (2011). Виды дефектов обуви, возникающие в процессе эксплуатации. *Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности : материалы международной научной конференции*, С. 50–51.

Закатова, Н.Д., Михеева, Е.Я. (1966). *Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей*. Москва: «Легкая индустрия», СССР.

Любич, М.Г., Маковская, Е.И. и Семенова, Т.В. (1971). *Ростовочный и половозрастной ассортимент ремонтируемой обуви*. Москва: ЦБНТИ, СССР.

Михеева, Е.Я., Мореходов, Г.А. и Швецова, Т.П. (1989). *Справочник обувщика (Технология)*. Москва: Легпромбытиздат, СССР.

Нейфельд, М.А., Буркин, А.Н. (2025). Износостойкость пористых подошв из термоэластопластов, *Дизайн. Материалы. Технология*, № 2 (78), С. 138–146.

Нейфельд, М.А., Буркин, А.Н. и Долган, М.И. (2025). Конструктивные особенности формованных подошв из термоэластопластов и основные их дефекты, *Костюмология*, Т. 10, № 3.

Нейфельд, М.А., Буркин, А.Н. (2024). Оценка износостойкости монолитных подошв обуви из термоэластопластов, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 4 (50), С. 37–48.

Al-Shamsi, F., Farooq, A., Al-Raisi, L. and AlSenoy, K.V. (2026). Effects of light footwear on gait mechanics and comfort during walking: Asystematic review and meta-analysis, *Next Research*, vol. 9, pp. 1–17.

Chen, C.-H., Tu, K.-H., Liu, C. and Shiang, T.-Y. (2014). Effects of forefoot bending elasticity of running shoes on gait and running performance, *Human Movement Science*, vol. 38, pp. 163–172.

Chuenyindee, T, Torres, R.B., Prasetyo, Y.T., Nadlifatin, R. and Persada, S.F. (2022). Determining factors affecting perceived quality among shoe manufacturing workers towards shoe quality: a structural equation modeling approach, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 2, pp. 1–17.

Kouwenhove, L. van, Verkerke, G.J., Posttma, K., Dekker, R. and Hijmans, J.M. (2021). Effects of Longitudinal Bending Stiffness of forefoot rocker profile shoes on ankle kinematics and kinetics, *Gait & Posture*, vol. 90, pp. 326–333.

Oleson, M., Adler, D. and Goldsmith, P. (2005). A comparison of forefoot stiffness in running andrunning shoe bending stiffness, *Journal of Biomechanics*, vol. 38, no. 9, pp. 1886–1894.

Reints, R., Hijmans, J.M., Burgerhof, J.G.M., Postema, K. and Verkerke, B.G.J. (2017). Effects of flexible and rigid rocker profiles on in-shoe pressure, *Gait & Posture*, vol. 58, pp. 287–293.

REFERENCES

Adler, Yu.P., Markova, E.V. and Granovsky, Yu.V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij* [Planning of the Experiment in Search of Optimum Conditions]. Moscow: Nauka, USSR (In Russian).

Burkin, A.N., Sheremet, E.A. (2017). *Formoustojchivost' obuvi* [Shape Stability of Footwear]. Vitebsk: VGTU, Republic of Belarus (In Russian).

Dolgan, M.I., Konovalov, K.G. (2011). Types of Shoe Defects that Arise in the Process of Operation [Vidy defektov obuvi, voznikayushchie v processe ekspluatacii]. *Novoe v tekhnike i tekhnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti : materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii = New in Technique and Technology of the Textile and Light Industry: Materials of the International Scientific Conference*, pp. 50–51 (In Russian).

Zakatova, N.D., Miheeva, E.Ya. (1966). *Ekspluatacionnye svojstva obuvnyh materialov i detalej* [Performance properties of shoe materials and parts]. Moscow: "Light Industry", USSR (In Russian).

Lyubich, M.G., Makovskaya, E.I. and Semenova, T.V. (1971). *Rostovochnyj i polovozrastnoj assortiment remontiruemoj obuvi* [Growth and gender-age range of repaired footwear]. Moscow: TsBNTI, USSR (In Russian).

Mikheeva, E.Ya., Morekhodov, G.A. and Shvetsova, T.P. (1989). *Spravochnik obuvshchika (Tekhnologiya)* [Handbook of a Shoemaker (Technology)]. Moscow: Legprombytizdat, USSR (In Russian).

Neufeld, M.A., Burkin, A.N. (2025). Wear Resistance of Porous Sole Materials Made of Thermoelastoplastics [Iznosostojkost' poristyh podoshv iz termoelastoplastov]. *Dizajn. Materialy. Tekhnologiya = Design. Materials. Technology*, no. 2 (78), pp. 138–146 (In Russian).

Neifeld, M.A., Burkin, A.N. and Dolgan, M.I. (2025). Design Features of Molded Sole Materials Made of Thermoelastoplastics and Their Main Defects [Konstruktivnye osobennosti formovannyh podoshv iz termoelastoplastov i osnovnye ih defekty]. *Kostyumologiya = Kostyumologiya*, vol. 10, no. 3 (In Russian).

Neifeld, M.A., Burkin, A.N. (2024). Evaluation of the wear resistance of monolithic sole shoes made of thermoelastoplastics [Ocenka iznosostojkosti monolitnyh podoshv obuvi iz termoelastoplastov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, no. 4 (50), pp. 37–48 (In Russian).

Al-Shamsi, F., Farooq, A., Al-Raisi, L. and AlSenoy, K.V. (2026). Effects of light footwear on gait mechanics and comfort during walking: Asystematic review and meta-analysis, *Next Research*, vol. 9, pp. 1–17.

Chen, C.-H., Tu, K.-H., Liu, C. and Shiang, T.-Y. (2014). Effects of forefoot bending elasticity of running shoes on gait and running performance, *Human Movement Science*, vol. 38, pp. 163–172.

Chuenyindee, T., Torres, R.B., Prasetyo, Y.T., Nadlifatin, R. and Persada, S.F. (2022). Determining factors affecting perceived quality among shoe manufacturing workers towards shoe quality: a structural equation modeling approach, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, vol. 8, no. 2, pp. 1–17.

Kouwenhove, L. van, Verkerke, G.J., Posttma, K., Dekker, R. and Hijmans, J.M. (2021). Effects of Longitudinal Bending Stiffness of forefoot rocker profile shoes on ankle kinematics and kinetics, *Gait & Posture*, vol. 90, pp. 326–333.

Oleson, M., Adler, D. and Goldsmith, P. (2005). A comparison of forefoot stiffness in running andrunning shoe bending stiffness, *Journal of Biomechanics*, vol. 38, no. 9, pp. 1886–1894.

Reints, R., Hijmans, J.M., Burgerhof, J.G.M., Postema, K. and Verkerke, B.G.J. (2017). Effects of flexible and rigid rocker profiles on in-shoe pressure, *Gait & Posture*, vol. 58, pp. 287–293.

Информация об авторах

Нейфельд Мария Александровна
Старший преподаватель кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: mneufeld8@yandex.by

Феоктистова Альбина Юрьевна
Студент (выпускница) кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: albinafeoktistova134@gmail.com

Буркин Александр Николаевич
Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: trt@vstu.by

Information about the authors

Maria A. Neufeld
Senior Lecturer at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: mneufeld8@yandex.by

Albina Yu. Feoktistova
Student (Graduate) of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: albinafeoktistova134@gmail.com

Alexander N. Burkin
Doctor of Science (in Engineering), Professor of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: trt@vstu.by

УДК 677.027.4:504.4.054 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-43-51

Оценка экологической токсичности водных растворов натуральных красителей, применяемых в технологии крашения текстильных материалов

Н. В. Скобова, М. Д. Кириллова, А. А. Шитикова

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. В условиях ужесточения экологических требований к текстильному производству и роста интереса к устойчивым технологиям особую актуальность приобретает использование натуральных красителей как альтернативы синтетическим аналогам. Однако вопрос экологической безопасности отработанных красильных растворов на основе природного сырья остается недостаточно изученным.

Целью настоящей работы стала оценка экотоксичности водных красильных растворов, полученных из различных видов растительного и грибного сырья, применяемых для окрашивания текстильных материалов.

Установлено, что экотоксичность исследованных красильных растворов варьируется в широком диапазоне в зависимости от вида сырья. Наибольшую токсичность проявили экстракты коры дуба и луковой шелухи, что обусловлено высоким содержанием дубильных веществ, танинов и сероорганических соединений. Растворы листьев яблони и цветков бархатцев характеризовались слаботоксичным действием во всех исследованных концентрациях. Для экстракта трутовика окаймленного установлен нелинейный характер поведения тест-организмов: зафиксированный горметический эффект для грибного сырья указывает на сложные механизмы взаимодействия природных веществ с гидробионтами. Разбавление исходных красильных растворов в соотношении 1:8 и более приводит к снижению токсичности водных стоков.

Полученные результаты обосновывают возможность применения натуральных красителей в качестве экологически приемлемой альтернативы синтетическим красителям в текстильной промышленности с позиции снижения экотоксичности сточных вод при условии соблюдения режимов разбавления отработанных растворов.

Ключевые слова: тест-организмы, натуральные красители, трутовик, экотоксичность сточных вод, ракообразные Daphnia magna Straus.

Информация о статье: поступила 10 июня 2026 года.

Статья подготовлена по материалам доклада 59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 15–16 апреля 2026 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Assessment of the ecotoxicity of aqueous solutions of natural dyes used in textile dyeing technology

Natallia V. Skobova, Margarita D. Kirillova, Anna A. Shitikova

Vitebsk State Technological Universit, Republic of Belarus

Abstract. With increasingly stringent environmental requirements for textile production and growing interest in sustainable technologies, the use of natural dyes as alternatives to synthetic analogs is becoming increasingly important. However, the environmental safety of spent dye solutions based on natural raw materials remains poorly understood.

The aim of this study was to assess the ecotoxicity of aqueous dye solutions obtained from various plant and fungal raw materials used for dyeing textile materials.

It was found that the ecotoxicity of the dye solutions studied varied widely depending on the type of raw material. Oak bark and onion peel extracts exhibited the highest toxicity, due to their high content of hardening agents, tannins, and organosulfur compounds. Apple leaf and marigold flower solutions exhibited low toxicity at all concentrations tested. Nonlinear behavior of the test organisms was observed for the polypore extract: the observed hormetic effect of the mushroom raw material indicates complex mechanisms of interaction between natural substances and aquatic organisms. Dilution of the original

dye solutions to a ratio of 1:8 or greater leads to a decrease in the toxicity of water effluents.
These results support the use of natural dyes as an environmentally acceptable alternative to synthetic dyes in the textile industry, as they reduce the ecotoxicity of wastewater, provided the dilution regimes for the spent solutions are followed.
Keywords: test organisms, natural dyes, polypore fungus, wastewater ecotoxicity, crustacean Daphnia magna Straus.
Article info: received June 10, 2026.
The article summarizes the research materials presented at the 59th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, held on April 15–16, 2026 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

В последние годы рынок натуральных красителей испытывает повышенный интерес, вызванный растущим спросом на экологически чистые и устойчивые альтернативы для синтетических красителей (Elsahida et al., 2020). Это обусловлено сочетанием меняющихся нормативных требований к производителю в отношении экологического законодательства и осознанного подхода потребителя к своему здоровью (NDMO[1]). В частности, запреты на определенные химические вещества и требования к снижению загрязнения водных объектов (регламент REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), международный стандарт органического текстиля (Global Organic Textile Standard, GOTS) и стандарт OEKO-TEX® Standard 100) заставляют производителей искать безопасные альтернативы в технологии крашения текстильных материалов (RRND[2]).

Помимо экологических и нормативных аспектов, на масштабы и устойчивость загрязнения красителями решающее влияние оказывают социально-экономические факторы. Стремительная глобализация и модель «быстрой моды» усилили производственную нагрузку, вынуждая производителей отдавать предпочтение экономической эффективности, а не защите окружающей среды. Однако не все производители остаются в стороне, например, дизайнеры международных модных брендов, таких как Nike, Toms, Reebok, Quiksilver, MUD Jeans и Patagonia, выпустили ограниченные коллекции одежды и обуви, окрашенные натуральными красителями, что свидетельствует об их поддержке новых экологических требований по снижению химического воздействия индустрии моды на водные ресурсы и почву (Titisari and Sinha, 2025).

[1] Natural Dyes Market Outlook 2026–2034: Market Share, and Growth Analysis (2025). NDMO.
[2] Regulatory Requirements For Natural Dyes In Consumer Textiles (2025). RRND

Экологические проблемы в технологии крашения текстильных материалов обусловлены большим количеством сбрасываемых в водные системы сточных вод содержащих красители: по международным данным ежегодно попадает от 40 000 до 50 000 тонн красителей (Kavitha, Govindhan and Premkumar, 2025). Особую опасность представляют синтетические красители, которые обладают высокой устойчивостью к биологическому разложению, обладают способностью к биоаккумуляции, токсичны, мутагенны и канцерогенны (Lellis et al., 2019; Tkaczyk, Mitrowska and Posyniak, 2020), оказывают существенное влияние на водные экосистемы, снижая проникновение солнечного света, повышая биохимическую потребность в кислороде (БПК) и химическую потребность в кислороде (ХПК), а также подавляя фотосинтез (Soni, Bhatt and Tailor, 2025). Из-за своей токсичности некоторые синтетические красители были запрещены во многих странах, что побудило производителей искать более безопасные пути, к которым относится применение натуральных красителей, получаемых из наземных и подземных частей растений, их соцветий, плодов, из грибов и лишайников (Atav et al., 2020). Главным экологическим преимуществом натуральных красителей является их биоразлагаемость и низкая токсичность по сравнению с синтетическими [de Farias en al., 2023; Shams-Nateri, 2011].

В связи с этим, целью настоящей работы стала оценка экотоксичности водных красильных растворов, полученных из различных видов растительного и грибного сырья, применяемых для окрашивания текстильных материалов.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов исследований выбраны водные красильные растворы, полученные из различных видов высушенных растений и грибов, отличающихся высокой степенью закрепления красителя на волокне без применения протрав: луковая шелуха, кора дуба, цветы бархатцев, корень лапчатки, листья яблони, трутовик окайм-

ленный (Скобова, Ясинская и Кузнецова, 2022).

Красильный раствор подготавливали по разработанной авторами технологии с применением ультразвуковой обработки дробленого сырья (Скобова, Кириллова и Шитикова, 2025). Такой подход образует потенциал для извлечения физиологически активных функциональных веществ в рабочий раствор красильной ванны для интенсификации последующего процесса крашения без применения протрав. Повышение эффективности экстракции при использовании ультразвука в основном объясняется эффектом акустической кавитации, возникающей в растворителе при прохождении ультразвуковой волны (Mahfud, 2018). Ультразвук также оказывает механическое воздействие, способствуя более глубокому проникновению растворителя в матрицу образца, увеличивая площадь контакта между твердой и жидкой фазами и, как следствие, ускоряя диффузию растворенного вещества из твердой фазы в растворитель. В качестве растворителя использовалась дистиллированная вода. Измельченное растительное сырье после озвучивания экстрагировали при температуре 95 °С в течение 60 минут с последующей фильтрацией и охлаждением до температуры окружающей среды. В результате получен исходный экстракт, принимаемый за 100 % концентрацию.

Экотоксикологическая оценка красильных растворов из растительного и грибного сырья проводилась с применением стандартизированной методики согласно ИСО 6341:2012 «Вода. Определение токсичности по выживаемости пресноводных ракообразных Daphnia magna Straus», метод В. Исследование экотоксичности полученных растворов оценивали по серии проб с различной степенью разбавлений исходного экстракта отстоянной в течение 2 сут. в открытых сосудах водопроводной водой.

Согласно методике для каждого вида красильного раствора подготовлены: серия из 5 опытных вариантов красильных растворов с разным шагом разбавления (таблица 1) и контрольный тест-образец – отстоянная водопроводная вода 100 см^3 в емкости вместимостью 150 см^3 с размещенными тест-организмами. В каждую колбу помещали 10 особей Daphnia magna Straus в возрасте до 24 часов. Учёт смертности (иммобилизации) проводили через 24 и 48 часов экспозиции при температуре 20±1 °С.

Токсичность анализируемых проб (A, %) определяют по гибели тест-организмов для каждого заданного разбавления (концентрации) анализируемой пробы относительно контрольной пробы (матричный тест-раствор) после 48 ч тестирования и рассчитывают по формуле

$$A = \frac{X_0 - X_{ан}}{X_o} \cdot 100 , \qquad (1)$$

где X_o – среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов (дафний) в контрольной пробе (матричный раствор), шт; $X_{ан}$ – среднеарифметическое значение количества выживших тест-организмов для каждого заданного разбавления (концентрации) анализируемой пробы, шт.

Если значение токсичности анализируемых проб, рассчитанное по формуле (1), составляет не более 10 %, то эффективную кратность разбавления анализируемой пробы, при которой выживаемость тест-организмов снизилась относительно контрольной пробы не более чем на 10 % за 48 ч тестирования, относят к безвредной концентрации.

Таблица 1 – Схема концентраций водных экстрактов растений и грибов
Table 1 – Scheme of concentrations of aqueous extracts of plants and mushrooms

№	Концентрация экстракта	Соотношение (экстракт : вода)	Объём экстракта (мл)	Объём воды (мл)
1	100 %	1:0	250	0
2	50 %	1:1	125	125
3	25 %	1:4	62,5	187,5
4	12,5 %	1:8	31,25	218,75
5	6,25 %	1:16	15,625	234,375
6	0 % (контрольная проба)	0:1	0	250

Результаты исследований

Оценка жизнеспособности и активности рачков проводилась после их размещения в контрольных и анализируемых средах в течении 24 ч, из которых 16 ч – световой день, 8 ч – темное время суток, и по истечении 48 ч проводили подсчет особей в каждой колбе, по три повторности в каждой серии (рисунок 1). Средние значения выживших с расчетом процента гибели представлены в таблице 2.

Анализ результатов

Анализ токсичности полученных растворов показал, что высокотоксичными для тест-организмов являются раствор луковой шелухи, причем процент разбавления не оказал никакого влияния на степень токсичности, происходит 100 % гибель всех особей даже при малых концентрациях (соотношение 1:16).

В шелухе лука содержатся биологически активные соединения, которые являются частью защитной системы растения. К ним относятся флавоноиды и фенольные соединения, например, кверцетин. Эти вещества обладают антимикробными и антиоксидантными свойствами, но для водных организмов могут быть чужеродными и токсичными. В работе (Pino-Otín et al., 2022) авторы исследования подтверждают, что такие соединения, содержащиеся в гидролате другого вида растений (Satureja montana), могут быть высокотоксичны для D. magna: например, концентрация содержащего фенола (карвакрол и тимол) в количестве менее 1 % вызвала гибель 50 % тест-организмов (LC_{50}).

Также шелуха лука содержит сульфиды и другие серосодержащие вещества, которые в растворенном виде могут воздействовать на ферментные системы и дыхание рачков.

Аналогичная ситуация с тест-организмами в водных растворах коры дуба – высокая степень токсичности во всех пробах. Такая динамика обусловлена комплексом биологически активных веществ: дубильных вещества (пирогалловая группа), соединения взаимодействуют с белками и, как показывают исследования, токсичны для водных ракообразных (Alvarez et al., 2016). Танины нарушают двигательную активность рачков, что делает их неспособными к нормальной жизнедеятельности. Фенольные и полифенольные соединения являются естественными антимикробными агентами и, попадая в воду, воздействуют на водных беспозвоночных как высокотоксичные (Mendonca et al, 2007).

Токсичность водных растворов корня лапчатки имеет высокие показатели на больших концентрациях растворов, однако при разбавлении 1:8 и более этот показатель снижается до среднетоксичного. При оценке зависимости «концентрация – эффект» установлена прямая сильная корреляционная связь между числом погибших тест-организмов и степенью разбавления (коэффициент корреляции 0,86).

Экстракт лапчатки отличается высоким содержанием полифенольных соединений – в первую очередь дубильных веществ (таннинов) и флавоноидов, а также присутствием галловой кислоты – одного из представи-

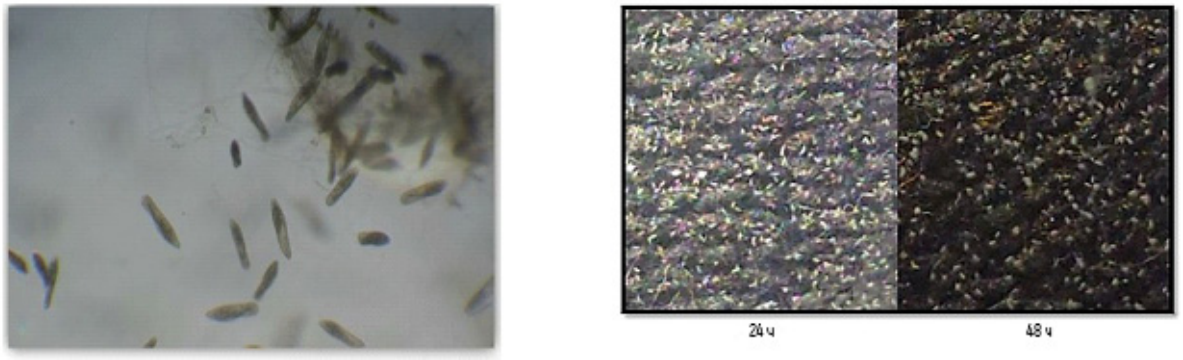


Рисунок 1 – Фотография особей Daphnia magna Straus в контрольной пробе
Figure 1 – Photograph of Daphnia magna Straus specimens in a control sample

Таблица 2 – Результаты токсикологической оценки водных красильных растворов
Table 2 – Results of toxicological evaluation of aqueous dye solutions

Соотношение (экстракт : вода)	**Среднеарифметическое значение выживших, шт, через 24/48 ч**	**Токсичность проб A, % через 24/48 ч**
1	**2**	**3**
Контрольная проба	10/10	0
Водный раствор трутовика окаймленного		
1:0	5/4	50/60
1:1	3/7	70/30
1:4	4/9	60/20
1:8	8/9	20/20
1:16	9/9	10/20
Водный раствор луковой шелухи		
1:0	0/0	100/100
1:1	0/0	100/100
1:4	0/0	100/100
1:8	0/0	100/100
1:16	0/0	100/100
Водный раствор коры дуба		
1:0	0/0	100/100
1:1	2/0	80/100
1:4	3/3	70/70
1:8	6/4	40/60
1:16	5/3	50/70
Водный раствор соцветий бархатцев		
1:0	6/4	40/60
1:1	5/5	50/50
1:4	6/5	40/50
1:8	7/7	30/30
1:16	8/8	20/20
Водный раствор корня лапчатки		
1:0	0/0	100/100
1:1	0/0	100/100
1:4	5/4	50/60
1:8	6/6	40/40
1:16	7/6	30/40

Окончание таблицы 2 – Результаты токсикологической оценки водных красильных растворов
End of Table 2 – Results of toxicological evaluation of aqueous dye solutions

1	2	3
Водный раствор листьев яблони		
1:0	5/4	50/60
1:1	6/6	40/40
1:4	7/6	30/40
1:8	8/7	20/30
1:16	10/10	0/0

Примечание:
Степень токсичности проб оценивается по шкале приводимой в ИСО 6341:2012: нетоксичная $\boldsymbol{A}$ = до 10 % включительно; не обладает острой токсичностью: слаботоксичная $\boldsymbol{A}$ = свыше 10 до 35 % включительно, среднетоксичная $\boldsymbol{A}$ = свыше 35 до 50 % включительно; обладает острой токсичностью: высокотоксичная $\boldsymbol{A}$ = свыше 50 до 100 % включительно.

телей фенольных кислот (Скобова, Ясинская и Горохова, 2024). Танины могут изменять физические свойства клеточных мембран, вызывать агрегацию мембранных белков и повышать адгезию мембран. Это нарушает барьерную функцию и транспорт веществ в организмах дафний. Высокие концентрации полифенолов могут взаимодействовать с ферментами, нуклеиновыми кислотами и нарушать физиологические процессы, приводя к гибели организма. Флавоноиды могут вызывать раздражение пищеварительного тракта, что приводит к отказу от питания и истощению (Vanhaecke, Persoone, Claus and Sorgeloos, 1987).

Среднетоксичными при разбавлении растворов в соотношении 1:1 и слаботоксичными при разбавлении 1:4 и более являются водные экстракты листьев яблони и соцветий бархатцев. Для водных беспозвоночных полученные растительные концентраты не являются токсичными. Похожие результаты, полученные другими авторами (Ferraz et al., 2022), подтверждают, что многие водные экстракты из листьев различных видов растений (тополь, ясень, рябина) значения LC_{50} для дафний составляли от 1770 до 10100 мг/л, что указывает на очень низкую токсичность листьев.

Наиболее интересный результат был получен при изучении поведения рачков в водном растворе трутовика окаймленного: по истечении 24 ч наблюдений отмечалось угнетение жизнедеятельности тест-организмов, особенно в концентрированных растворах (без разбавления и разбавление 1:1, 1:4), оценка среды – высокотоксичная. Однако через 48 ч исследований произошел рост численности беспозвоночных практически до первоначального значения. В начальный период времени высокая концентрация экстрактивных веществ из трутовика оказывает токсическое воздействие. Это проявляется в виде стрессовой реакции, повреждения клеток или нарушения физиологических процессов, что и приводит к гибели части особей и падению общей численности популяции. Дафнии являются чувствительными организмами, особенно остро реагирующими на химический стресс. В ответ на стресс у выживших рачков запускаются каскады защитных реакций на молекулярном и физиологическом уровнях. Это может включать изменения в экспрессии генов, связанных с детоксикацией и иммунитетом. В результате организм становится более устойчивым к токсическому агенту (Bisschop et al., 2025). Кроме того, содержащаяся в растворе органика в виде мелких частиц грибов, спор служит кормом для бактериопланктона, которым питаются дафнии.

Выводы

В ходе исследований установлено, что экотоксичность водных красильных растворов на основе растительного и грибного сырья существенно варьируется в зависимости от вида сырья. Наименьшую токсичность для Daphnia magna показали растворы на основе листьев яблони и цветков бархатцев, что обусловлено низкой концентрацией биологически активных полифенольных соединений в водной вытяжке.

Для всех исследованных образцов подтверждена прямая корреляция между концентрацией экстракта в красильном растворе и уровнем смертности тест-орга-

низмов, за исключением раствора коры дуба. Разбавление исходных красильных растворов в соотношении 1:4 и более приводило к снижению токсичности, что указывает на возможность снижения экологической нагрузки на гидробионтов путем разбавления стоков.

Впервые для водного раствора трутовика окаймленного (Fomitopsis pinicola) зафиксирован нелинейный характер поведения тест-организмов: падение численности дафний в первые 24 часа сменялось ростом популяции к 48-му часу. Этот эффект объясняется, с одной стороны, адаптацией выживших особей к токсической нагрузке, а с другой – использованием грибных частиц (спор и мицелиальных фрагментов) в качестве дополнительного питательного субстрата.

Полученные результаты исследований позволяют рекомендовать использование натуральных красителей в технологиях крашения при условии контроля кратности разбавления отработанных красильных ванн перед сбросом в системы водоотведения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Кузнецова, А.О. (2022). Пути повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 1(42), с. 115. doi:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124.

Скобова, Н.В., Ясинская, Н.Н. и Горохова, А.В. (2024). Применение экстракта корня лапчатки Potentilla erecta в технологии крашения текстильных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 47, с. 82. doi:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92.

Скобова, Н.В., Кириллова, М.Д. и Шитикова, А.А. (2025). Интенсификация процесса подготовки трутовика Fomitopsis pinicola в технологии крашения текстильных материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 53, с. 89. doi:10.24412/2079-7958-2025-3-89-99.

Alvarez, M.F., Benítez, H.H., Villegas Cortés, J.C., Gabellone, N.A. and Claps, M.C. (2016). Effect of tannins on survival and development of Daphnia menucoensis and the abundances of bacteria, *Chemistry and Ecology*, 32, pp. 742–755. doi:10.1080/02757540.2016.1177831.

Atav, R., Güneş, E., Çifçi, D.İ. and Güneş, Y. (2020). Comparison of Wool Fabric Dyeing with Natural and Synthetic Dyes in View of Ecology and Treatability. *AATCC Journal of Research*, 7(6), pp. 15–22. doi:10.14504/ajr.7.6.3.

Bisschop, K., Goel, N., Coone, M., Vanoverberghe, I., Greffe, A., Asselman, J. and Decaestecker, E. (2025). Host-microbiota matching and epigenetic modulation drive Daphnia magna responses to cyanobacterial stress. *The ISME Journal*, 19(1), wraf247. doi:10.1093/ismejo/wraf247.

de Farias, N.O., de Albuquerque, A.F., dos Santos, A., Almeida, G.C.F., Freeman, H.S., Räisänen, R. and Umbuzeiro, G.A. (2023). Is natural better? An ecotoxicity study of anthraquinone dyes. *Chemosphere*, 343, 140174. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.140174.

Ferraz, C.A., Pastorinho, M.R., Palmeira-de-Oliveira, A. and Sousa, A.C.A. (2022). Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: *A review Environmental Pollution*, 292 (Part B), 118319. Available at: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118319 (Accessed: 22 June 2026).

Elsahida, K., Fauzi, A., Saillah, I. and Siregar, I. (2020). Sustainable production of natural textile dyes industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472, 012036. doi:10.1088/1755-1315/472/1/012036.

Kavitha, G., Govindhan, M. and Premkumar, S. (2025). Dye pollution and its implications for human health, aquatic ecosystems, and sustainable wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*, 80, 109071. doi:10.1016/j.jwpe.2025.109071.

Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A. and Polonio, J.C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3, pp. 275–290. doi:10.1016/j.biori.2019.09.001.

Mahfud, M. (2018). Natural Dye Extraction From Teak Leaves (Tectona Grandis) Using Ultrasound Assisted Extraction Method for Dyeing on Cotton Fabric. *MATEC Web of Conferences*, 156, 05004. doi:10.1051/matecconf/201815605004.

Mendonça, E., Picado, A., Silva, L. and Anselmo, A.M. (2007). Ecotoxicological evaluation of cork-boiling wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), pp. 384–390. doi:10.1016/j.ecoenv.2006.02.013.

Pino-Otín, M.R., Navarro, J., Val, J., Roig, F., Mainar, A.M. and Ballestero, D. (2022). Spanish Satureja montana L. hydrolate: Ecotoxicological study in soil and water non-target organisms. *Industrial Crops and Products*, 178, 114553. doi:10.1016/j.indcrop.2022.114553.

Shams-Nateri, A. (2011). Reusing wastewater of madder natural dye for wool dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), pp. 775–781. doi:10.1016/j.jclepro.2010.12.018.

Soni, V., Bhatt, U., Tailor, P. and Strasser, R.J. (2025). Impact of synthetic and herbal dyes on photosynthesis and ROS scavenging enzyme activities in Spirodela polyrhiza. *Scientific Reports*, 15, 24775. doi:10.1038/s41598-025-09326-8.

Titisari, B. and Sinha, P. (2025). A systematic review of natural colourants and trend forecasting practices for the textile and fashion industry. *Coloration Technology*, 141(6), pp. 801–827. doi:10.1111/cote.12836.

Tkaczyk, A., Mitrowska, K. and Posyniak, A. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the Total Environment*, 717, 137222. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137222.

Vanhaecke, P., Persoone, G., Claus, C. and Sorgeloos, P. (1981). Proposal for a short-term toxicity test with Artemia nauplii. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 5(3), pp. 382–387. doi:10.1016/0147-6513(81)90012-9.

REFERENCES

Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Kuznetsova, A.O. (2022). Ways to Improve the Efficiency of Dyeing Cotton Fabrics with Natural Dyes [Puti povyshenija jeffektivnosti krashenija hlopchatobumazhnyh tkanej prirodnymi krasiteljami]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 1(42), p. 115. doi:10.24412/2079-7958-2022-1-115-124 (In Russian).

Skobova, N.V., Yasinskaya, N.N. and Gorokhova, A.V. (2024). Application of Potentilla Erecta Root Extract in Textile Dyeing Technology [Primenenie jekstrakta kornja lapchatki Potentilla Erecta v tehnologii krashenija tekstil'nyh materialov], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 1(47), P. 82. DOI:10.24412/2079-7958-2024-1-82-92 (In Russian).

Skobova, N.V., Kirillova, M.D. and Shitikova, A.A. (2025). Intensification of the preparation process of the Fomitopsis pinicola tinder fungus in the technology of dyeing textile materials [Intensifikacija processa podgotovki trutovika Fomitopsis pinicola v tehnologii krashenija tekstil'nyh materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universitet = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 3(53), p. 89. doi:10.24412/2079-7958-2025-3-89-99/ (In Russian).

Alvarez, M.F., Benítez, H.H., Villegas Cortés, J.C., Gabellone, N.A. and Claps, M.C. (2016). Effect of tannins on survival and development of Daphnia menucoensis and the abundances of bacteria, *Chemistry and Ecology*, 32, pp. 742–755. doi:10.1080/02757540.2016.1177831.

Atav, R., Güneş, E., Çifçi, D.İ. and Güneş, Y. (2020). Comparison of Wool Fabric Dyeing with Natural and Synthetic Dyes in View of Ecology and Treatability. *AATCC Journal of Research*, 7(6), pp. 15–22. doi:10.14504/ajr.7.6.3.

Bisschop, K., Goel, N., Coone, M., Vanoverberghe, I., Greffe, A., Asselman, J. and Decaestecker, E. (2025). Host-microbiota matching and epigenetic modulation drive Daphnia magna responses to cyanobacterial stress. *The ISME Journal*, 19(1), wraf247. doi:10.1093/ismejo/wraf247.

de Farias, N.O., de Albuquerque, A.F., dos Santos, A., Almeida, G.C.F., Freeman, H.S., Räisänen, R. and Umbuzeiro, G.A. (2023). Is natural better? An ecotoxicity study of anthraquinone dyes. *Chemosphere*, 343, 140174. doi:10.1016/j.chemosphere.2023.140174.

Ferraz, C.A., Pastorinho, M.R., Palmeira-de-Oliveira, A. and Sousa, A.C.A. (2022). Ecotoxicity of plant extracts and essential oils: *A review Environmental Pollution*, 292 (Part B), 118319. Available at: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118319 (Accessed: 22 June 2026).

Elsahida, K., Fauzi, A., Saillah, I. and Siregar, I. (2020). Sustainable production of natural textile dyes industry. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 472, 012036. doi:10.1088/1755-1315/472/1/012036.

Kavitha, G., Govindhan, M. and Premkumar, S. (2025). Dye pollution and its implications for human health, aquatic ecosystems, and sustainable wastewater treatment: A comprehensive review. *Journal of Water Process Engineering*, 80, 109071. doi:10.1016/j.jwpe.2025.109071.

Lellis, B., Fávaro-Polonio, C.Z., Pamphile, J.A. and Polonio, J.C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3, pp. 275–290. doi:10.1016/j.biori.2019.09.001.

Mahfud, M. (2018). Natural Dye Extraction From Teak Leaves (Tectona Grandis) Using Ultrasound Assisted Extraction Method for Dyeing on Cotton Fabric. *MATEC Web of Conferences*, 156, 05004. doi:10.1051/matecconf/201815605004.

Mendonça, E., Picado, A., Silva, L. and Anselmo, A.M. (2007). Ecotoxicological evaluation of cork-boiling wastewaters. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66(3), pp. 384–390. doi:10.1016/j.ecoenv.2006.02.013.

Pino-Otín, M.R., Navarro, J., Val, J., Roig, F., Mainar, A.M. and Ballestero, D. (2022). Spanish Satureja montana L. hydrolate: Ecotoxicological study in soil and water non-target organisms. *Industrial Crops and Products*, 178, 114553. doi:10.1016/j.indcrop.2022.114553.

Shams-Nateri, A. (2011). Reusing wastewater of madder natural dye for wool dyeing. *Journal of Cleaner Production*, 19(6–7), pp. 775–781. doi:10.1016/j.jclepro.2010.12.018.

Soni, V., Bhatt, U., Tailor, P. and Strasser, R.J. (2025). Impact of synthetic and herbal dyes on photosynthesis and ROS scavenging enzyme activities in Spirodela polyrhiza. *Scientific Reports*, 15, 24775. doi:10.1038/s41598-025-09326-8.

Titisari, B. and Sinha, P. (2025). A systematic review of natural colourants and trend forecasting practices for the textile and fashion industry. *Coloration Technology*, 141(6), pp. 801–827. doi:10.1111/cote.12836.

Tkaczyk, A., Mitrowska, K. and Posyniak, A. (2020). Synthetic organic dyes as contaminants of the aquatic environment and their implications for ecosystems: A review. *Science of the Total Environment*, 717, 137222. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137222.

Vanhaecke, P., Persoone, G., Claus, C. and Sorgeloos, P. (1981). Proposal for a short-term toxicity test with Artemia nauplii. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 5(3), pp. 382–387. doi:10.1016/0147-6513(81)90012-9.

Информация об авторах | Information about the authors

Скобова Наталья Викторовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: skobova-nv@mail.ru

Кириллова Маргарита Дмитриевна
Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: margatritaakirillova@gmail.com

Шитикова Анна Александровна
Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: anasitikova60@gmail.com

Natallia V. Skobova
Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Environmental Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: skobova-nv@mail.ru

Margarita D. Kirillova
Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: margatritaakirillova@gmail.com

Anna A. Shitikova
Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: anasitikova60@gmail.com

УДК 547.976:676244 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-52-63

Устойчивая технология крашения натурального шелка природными красителями в условиях зеленой трансформации текстильного производства

Н. С. Амирова, *Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,*
Х. Р. Назирова *Республика Узбекистан*

Аннотация. Разработка инновационных и ресурсосберегающих технологий в процессах отделки текстильных материалов с ориентацией на использование локального сырья является одной из приоритетных задач современного промышленного развития. В этой связи замещение импортируемых дорогостоящих синтетических красителей природными аналогами, полученными из вторичных ресурсов, отходов пищевой промышленности и местной растительной флоры, представляется реальным и экономически целесообразным направлением. Особое значение при окрашивании натурального шелка природными красителями приобретает обеспечение экологичности технологического процесса. Это, в свою очередь, способствует производству высококачественной текстильной продукции, соответствующей современным экологическим требованиям и ориентированной на широкий ассортимент изделий, включая брендовую национальную, сувенирную и эксклюзивную продукцию, а также элементы интерьерного текстиля. В условиях отсутствия собственного производства синтетических красителей использование природных красителей, получаемых из богатой красильными растениями местной флоры и вторичных ресурсов, становится особенно актуальным и востребованным решением также с точки зрения охраны окружающей среды. В данной работе представлены результаты разработки способа окрашивания натурального шелка природным красителем на основе бузины черной. Изучено влияние протравных солей ($CuSO_4$, $KAl(SO_4)_2$, $K_2Cr_2O_7$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ni(NO_3)_2$, $CoCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, $SnCl_2$) на качественные и колористические характеристики образцов натурального шелка. Целью исследования является научное обоснование экологически безопасной технологии производства текстильной продукции, обеспечивающей высокое качество, ресурсосбережение и снижение загрязнения сточных вод анилиновыми соединениями, характерными для синтетических красителей.

Ключевые слова: природные красители, зеленая трансформация текстильного производства, натуральный шелк, местные растения, бузина черная, сточные воды, социальный и экологический эффект, инновационные и ресурсосберегающие технологии.

Информация о статье: поступила 9 июня 2026 года.

Sustainable technology for natural silk dyeing using natural dyes in the context of the green transformation of textile production

Nodira S. Amirova, *Tashkent Institute of Textile and Light Industry,*
Khilola R. Nazirova *Republic of Uzbekistan*

Abstract. The development of innovative, resource-efficient technologies for textile finishing – with a focus on utilizing local raw materials- – is a priority in modern industrial development. In this context, replacing expensive imported synthetic dyes with natural alternatives derived from secondary resources, food industry waste, and local flora represents a viable and economically sound approach. Ensuring the environmental sustainability of the technological process is of particular importance when dyeing natural silk with natural dyes. This, in turn, facilitates the production of high-quality textile goods that meet modern contemporary environmental standards and encompass a wide range of items, -including branded national products, souvenirs, exclusive goods, and interior textiles. Given the lack of domestic synthetic dye production, the use of natural dyes derived from local flora rich in pigment-yielding plants and from secondary resources is becoming an especially relevant and sought-after solution, particularly from an environmental protection perspective. This paper presents the results of developing a method for dyeing natural silk with a natural dye derived from black elderberry. The study investigated investigates the effect of mordant salts ($CuSO_4$, $KAl(SO_4)_2$, $K_2Cr_2O_7$, $Fe_2(SO_4)_3$, $Ni(NO_3)_2$, $CoCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, $SnCl_2$)

on the quality and color characteristics of natural silk samples. The research aims to provide a scientific basis for an environmentally safe textile production technology that ensures high quality and resource conservation while reducing wastewater contamination by aniline compounds associated with synthetic dyes.
Keywords: natural dyes, green transformation of textile production, natural silk, local plants, black elderberry, wastewater, social and environmental impact, innovative and resource-saving technologies.
Article info: received June 9, 2026.

Введение

В условиях стремительных глобальных климатических изменений особую актуальность приобретает зеленая трансформация текстильной промышленности, направленная на разработку экологически безопасных технологий крашения натуральных волокон с использованием возобновляемых природных ресурсов.

В условиях отсутствия отечественного производства синтетических красителей одним из перспективных направлений является использование природных красителей, получаемых из местного растительного сырья и их отходов, что способствует не только расширению сырьевой базы текстильной промышленности, но и снижению экологической нагрузки за счет уменьшения использования синтетических красителей и токсичных химических реагентов.

Согласно историческим данным истоки использования природных красителей совпадают с возникновением человеческой цивилизации, в различных культурах. Наличие в составе красильных растений множества фитохимических компонентов таких как танины, антоцианы, флавоноиды и другие полифенольные соединения обуславливает им весьма широкий диапазон и яркость цветов (Абель А., 2021; Versha V., 2023; Курдюков Е.Е. et al., 2023). В справочнике Color Index (CI, Англия) перечислены 92 природных красителей, а открыто химическое строение 62 из них.

До 60–70-х годов XIX века во всех отраслях промышленности для окрашивания широко применялись красители природного происхождения, получаемые из растений, насекомых и отдельных видов животных. Они отличались исключительным разнообразием цветовых оттенков, высокой насыщенностью, глубиной и качеством окраски. Изделия, окрашенные натуральными красителями, обладали не только эстетической привлекательностью, но и рядом специфических свойств, включая лечебный эффект, обусловленный природным происхождением компонентов (Amirova N.S., 2022c; Исламова З.Ш., Амирова Н.С. and Набиева И.А., 2020; Гулраджани М.Л. et al, 1992).

Многие из этих красителей характеризовались высокой устойчивостью к воздействию солнечного света, при этом со временем их окраска могла становиться ещё более яркой, что обеспечивало длительный срок службы изделий. Наши предки владели уникальными знаниями и технологиями получения природных красителей, а также методами окрашивания различных материалов. При этом учитывались такие важные факторы, как место произрастания растений, время сбора сырья, условия его хранения и обработки, что в совокуп-

Таблица 1 – Колористические решения в подборе цвета
Table 1 – Color schemes and color selection

Цвета	Число красителей	В %
Желтый	28	30,4
Оранжевый	6	6,5
Красный	32	34,8
Голубой	3	3,3
Зеленый	5	5,5
Коричневый	12	13,0
Черный	6	6,5

ности позволяло получать устойчивые и качественные красители с дополнительными полезными свойствами (Гулраджани М.Л. et al, 1992).

Применение местных красильных растений позволяет сочетать богатые традиции национального текстильного искусства с современными требованиями устойчивого развития и «зеленой» экономики, что повышает узнаваемость отечественной продукции на международном рынке. Особую ценность приобретают изделия, в которых экологическая безопасность производственного процесса сочетается с национальными художественными мотивами.

Экологичная технология крашения натурального шелка, шерсти, целлюлозных волокнистых материалов природными красителями основана на принципах рационального использования сырья, снижения загрязняемости сточных вод, а также минимизации образования растительных отходов, производства экологичной натуральной текстильной продукции, а также улучшении производственных условий работников. Использование растительных экстрактов в качестве красителей способствует получению широкой гаммы устойчивых оттенков при сохранении высоких физико-механических и эксплуатационных свойств текстильной ткани (Исламова З.Ш., 2021).

Разработка и совершенствование экологически ориентированных технологий отделки текстильных материалов соответствует современным требованиям «зеленого» производства, циркулярной экономике и целям динамичного развития. Внедрение инновационных технологий способствует производству готовых эксклюзивных ассортиментов текстильной продукции, отвечающих высоким качественным требованиям и экологическим страндартам, мировому спросу на экологически чистую продукцию, а также расширению новых ассортиментов текстильной продукции и созданию современной национальной текстильной брендовой линейки, основанной на сочетании природного сырья, традиций и инноваций. Самое главное, они способствуют снижению отрицательного воздействия на окружающую среду (Amirova N.S., 2022a, 2022b).

Целью исследования является научное обоснование экологически безопасной технологии производства текстильной продукции, обеспечивающей высокое качество, ресурсосбережение и снижение загрязнения сточных вод анилиновыми соединениями, характерными для синтетических красителей.

Методы и средства исследований

В настоящей работе представлены результаты исследования процесса окрашивания крепового натурального шелка природным красителем на основе листьев и плодов бузины. Изучено влияние различных факторов, включая pH среды, концентрацию красителя и электролита, содержание солей тяжелых металлов (протрав), а также температуру и продолжительность крашения, валентность металла и природу аниона его соли на колористические характеристики. Применение отваров листьев и плодов бузины черной дает возможность расширить цветовую гамму окрасок, получаемых на натуральном шелке.

В качестве объекта исследования был выбран креповый натуральный шелк. Благодаря высокой гигиеничности, хорошей драпируемости и экологичности натурального шелка, окрашенного природными красителями, рекомендуется для использования при изготовлении эксклюзивной одежды, дизайнерских аксессуаров, предметов интерьерного текстиля, сувенирной продукции и изделий медицинского и оздоровительного назначения, предъявляющих повышенные требования к экологической чистоте материалов. Колористические характеристики готовых образцов определяли на спектроколориметре ROD NO 29 марки фирмы DaeLim (Ю. Корея) по методике (Abdukarimova M.Z. et al., 2015), спектрофотметре модели V-5100, вязкость красильной пасты определяли на рефрактометре Германской фирмы KRÜSS.

В качестве источника сырья для получения красильных веществ использованы листья и плоды бузины черной. Бузина черная – Sambucus nigra L – кустарник или небольшое дерево, плод черно-фиолетового цвета, растет быстро. Ареал Sambucus nigra охватывает большую часть Европы, Западную Азию и Северную Африку. Наиболее благоприятными условиями для ее произрастания являются умеренный климат, плодородные, достаточно увлажненные почвы, речные долины, лесные опушки, овраги и кустарниковые заросли. Благодаря высокой экологической пластичности растение успешно адаптировано и культивируется во многих странах мира как ценная лекарственная, пищевая и красильная культура.

В республиках Центральной Азии культивируется как декоративное растение, размножается семенами, черенками и отводками. Цветки бузины содержат гликозид самбугнигрин, рутин, эфирное масло, органические кислоты. В плодах найдены дубильные вещества, органи-

ческие кислоты, самбунигрин. Ягоды бузины используют для окрашивания шелковых тканей в оливковый цвет, листья бузины дают хорошую окраску зеленого цвета (Ишунина Т.А. и Боева С.Г., 2017; Бурак Л.Ч., 2020).

В целях повышения прочности окраски и интенсивности цвета в красильные растворы экстракта листьев и плодов бузины черной были введены протравы – соли различных металлов. Концентрацию протравы первоначально в поисковых опытах сохранили как по традиционной технологии 7–14 % от массы шелка, приведенной в таблицах 2–3 (Amirova N.S. and Raxmonova S.R, 2024).

Результаты исследований

Была исследована красящая способность отваров листьев и плодов бузины черной в зависимости от природы используемой протравы. Красильный состав бузины черной (Sambucus nigra) основан на высоком содержании пигментов и фенольных соединений кверцетина, которые способны окрашивать материалы в темные оттенки. Флавоноиды – природные красители, пищевые антиоксиданты, дубильные вещества. Кверцетин – природный пигмент (флавоноид), который работает как эффективный желтый краситель для текстиля, а цветки черной бузины являются одним из источников этого вещества (Ferreira-Santos P. et al., 2021).

Методом качественной химической реакции при пробе Шинода определено присутствие различных флавонидных групп в плодах и листьях бузины черной: флавонолы – красное окрашивание, флавоны – жёлтое окрашивание, флаваноны – фиолетовое окрашивание, изофлавоны – окрашивания не дают. Комплексообразование с основным ацетатом свинца: флавоны, флаваноны и производные с двумя –OH группами в о-положении дают желтый осадок. Реакция на катехиновые агликоны: красное окрашивание с концентрированной HCl и ванилином (Godlewska K., Pacyga P. and Najda A., 2023; Митишев А.В. et al., 2023).

Анализ полученных результатов

Наличие в структуре белковых волокон макромолекул аминных, карбоксильных и гидроксильных функциональных групп повышает их сорбционные свойства, что обеспечивает эффективное взаимодействие волокна с флавоноидами, антоцианами, дубильными веществами и другими полифенольными соединениями природных красителей.

Применение протрав приводит к повышению интенсивности окраски, равномерности окрашивания и устойчивости окраски к мокрым обработкам, трению и воздействию света. С целью образования устойчивых координационных комплексов между красителем, ионами металлов и функциональными группами белкового волокна исследовались оптимальные условия крашения (pH среды, температуры, продолжительности процесса и вида протравы).

Красящие вещества экстракта с металлами образуют комплексы, которые посредством металла фиксируются на волокне при помощи координационной связи, которая обеспечивает высокую прочность окраски к действию мокрых обработок и света. Образование комплекса (для металла с координационным числом 6) и фиксации флавонидами на фиброин можно представить по следующей схеме (рисунок 1).

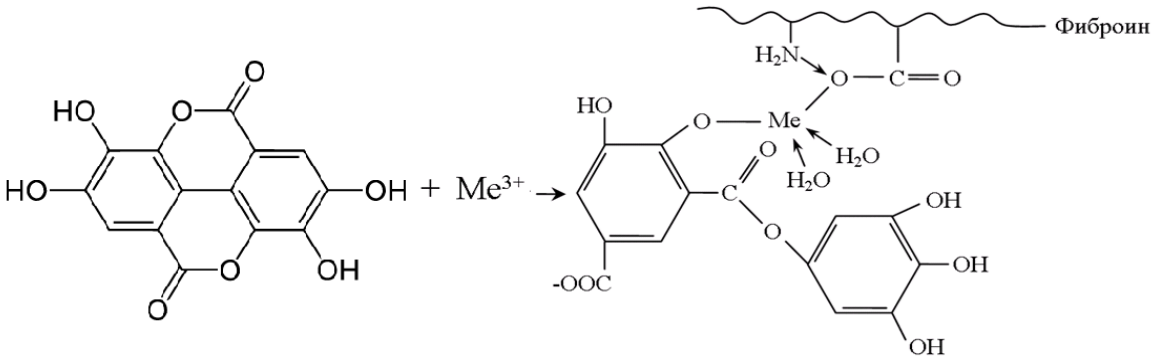


Рисунок 1 – Реакция образования комплекса между молекулой кверцетина, ионами трехвалентного металла (Me^{3+}) и фиброина шелка

Figure 1 – Reaction of complex formation between a quercetin molecule, trivalent metal ions and fibroin silk

Между ионами металла с гидроксильными и карбонильными группами кверцетина, образуется устойчивый металлокомплекс, который также взаимодействует с функциональными группами фиброина. Такое комплексообразование способствует прочной фиксации природного красителя на шелковом волокне, повышая интенсивность окраски и ее устойчивость к различным видам внешних воздействий.

На рисунке 2 представлена зависимость характеристик окрашивания шелка в отваре листьев бузины от вида применяемого протравителя. Анализ результатов свидетельствует о том, что максимальная чистота окраски достигается при использовании бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$) и сульфата меди ($CuSO_4$), где значения превышают 40–50 %. Применение сульфата железа ($Fe_2(SO_4)_3$) также обеспечивает достаточно высокую чистоту цвета, хотя она немного уступает указанным протравам. Остальные протравные соли ($Ni(NO_3)_2$, $CoCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$, $KAl(SO_4)_2$) характеризуются средними значениями данного показателя – примерно в пределах 25–35 %. Наименьшая чистота цвета наблюдается при использовании хлорида олова ($SnCl_2$), несмотря на то, что в этом случае фиксируется относительно более высокая доля адсорбированного красителя.

Согласно результатам приведенным на рисунке 3, высокая чистота цвета достигается при использовании сульфата меди ($CuSO_4$) и бихромата калия ($K_2Cr_2O_7$), что свидетельствует об их высокой эффективности в формировании интенсивной и насыщенной окраски. Достаточно высокие показатели также достигнуты в присутствии хлорида кобальта ($CoCl_2$) и сульфата железа ($Fe_2(SO_4)_3$).

В то же время применение алюмосодержащих протравных солей ($Al_3(SO_4)_3$, $KAl(SO_4)_2$) приводит к значительному снижению чистоты цвета, несмотря на относительно сопоставимые значения адсорбции красителя. Минимальные значения интенсивности окраски наблюдаются при использовании этих соединений, что указывает на их меньшую способность формировать устойчивые и яркие цветовые комплексы с природными пигментами бузины.

На основе поисковых опытов в целях достижения экологичности технологии для исследованных нами протрав удалось снизить их концентрации до 2,5–5,0 % от массы шелка.

Цвета, полученные при крашении в отваре листьев бузины коричневые, разных оттенков и светлоты для протрав (Fe^{3+}, Cr^{6+}, Cu^{2+}), а для остальных светлые,

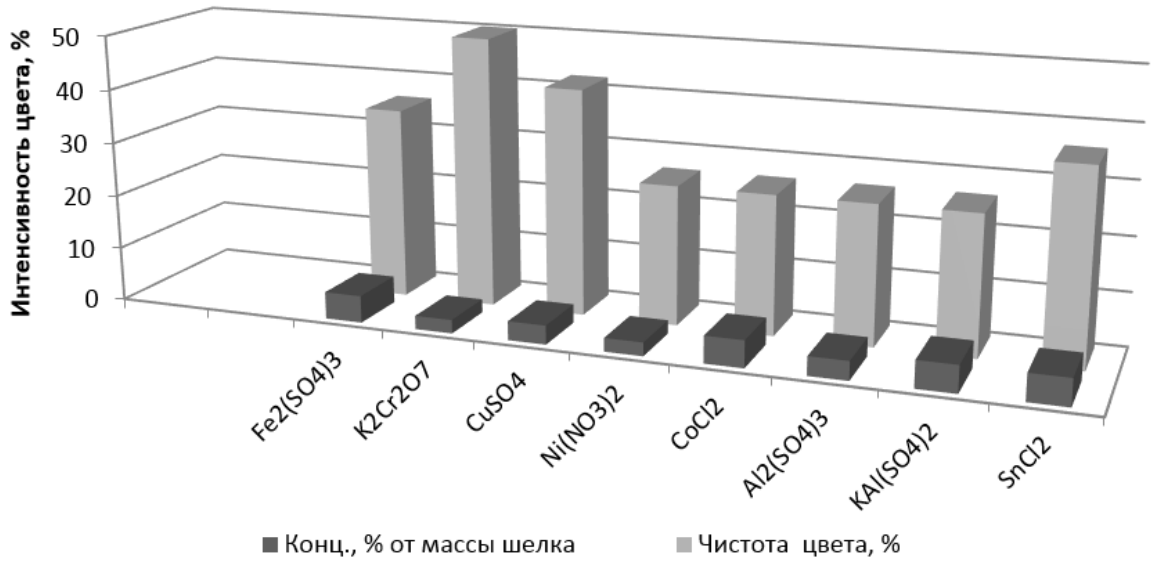


Рисунок 2 – Интенсивность цвета, полученного на шелке при крашении в отваре листьев бузины
Figure 2 – Characteristics of colors obtained on silk by dyeing in a decoction of elderberry leaves

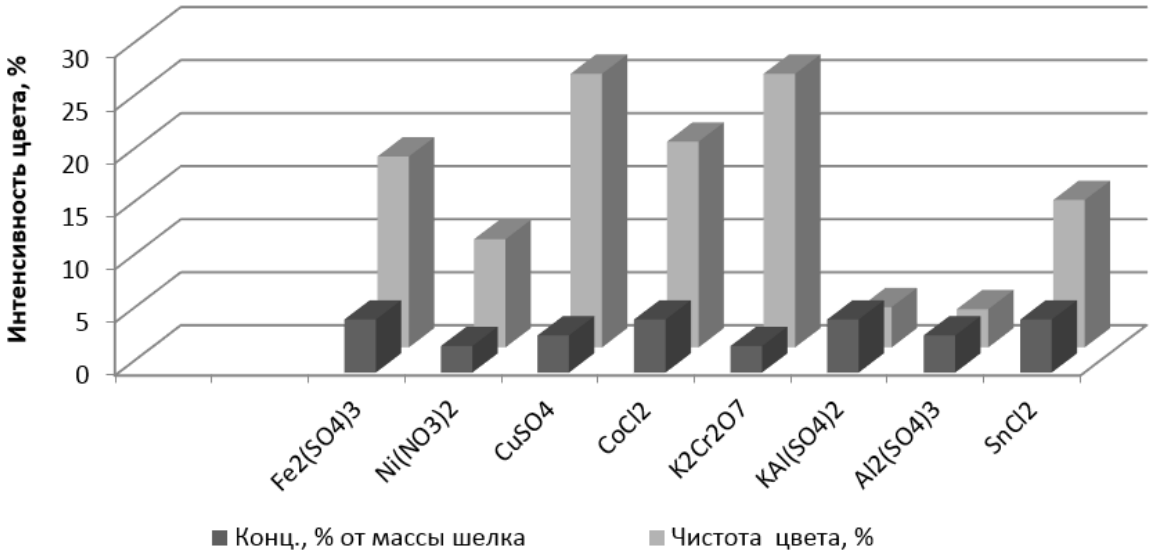


Рисунок 3 – Характеристика цветов, полученных на шелке при крашении в отваре плодов бузины
Figure 3 – Characteristics of colors obtained on silk by dyeing in a decoction of elderberries

постельные бежевые тона. На рисунке 4 представлена круговая диаграмма распределения интенсивности окраски (K/S) натурального шелка при использовании отвара листьев и плодов бузины.

Как видно из рисунка 4 а, наибольшее влияние на интенсивность окраски обеспечивает $K_2Cr_2O_7$, формирующая коричневый оттенок. Второе место занимает $Fe_2(SO_4)_3$, обеспечивающая темно-коричневый цвет. $CuSO_2$ дает умеренную интенсивность окраски с образованием орехового оттенка. Остальные протравы характеризуются значительно меньшими значениями K/S от 3,5 % до 6,3 %, формируя более светлые тона – бежевые, кремовые и светло-желтые.

В случае отвара плодов бузины (рисунок 4 б), наибольшую долю занимает протрава $Fe_2(SO_4)_3$, обеспечивающая темно-зеленый оттенок. Сопоставимые значения наблюдаются для $CuSO_4$ и $K_2Cr_2O_7$, формирующие соответственно оливковый и серовато-зеленый цвета. $SnCl_2$ также значительно занимает 12,0 %, обеспечивая фиолетовый оттенок. Остальные протравы характеризуются меньшей интенсивностью окраски: $Ni(NO_3)_2$, $CoCl_2$, $Al_2(SO_4)_3$ и $KAl(SO_4)_2$, соответственно получая преимущественно синие, бежевые и фиолетовые тона.

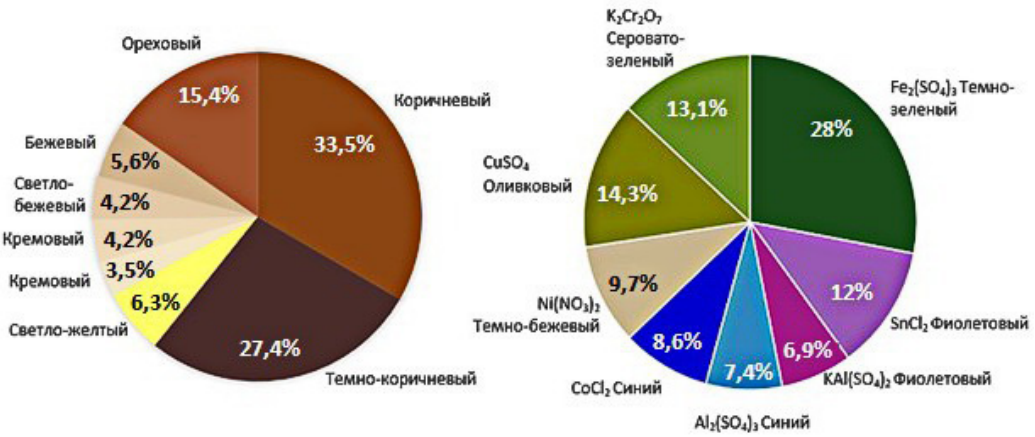
Характеристики цветов (интенсивность цвета, прочность окраски и визуальные цветовые тона) приведены в таблицах 2 и 3. Таким образом, при применении отвара листьев бузины черной в основном получается широкая палитра приятных, постельных и светлых тонов коричневого цвета, а в случае применения плодов черной бузины в качестве красителя позволяет значительно расширить цветовую гамму окрашивания натурального шелка.

Таким образом, диаграмма наглядно демонстрирует, что выбор протравы существенно влияет как на интенсивность, так и на цветовой тон окрашивания натурального шелка.

Необходимость применения процесса протравления с участием солей тяжелых металлов для закрепления и расширения окраски текстильных материалов компенсируется снижением их концентраций в 3–6 раз от традиционной технологии.

В целях сокращения количества солей металлов в сточных водах нами рекомендуется повторное использование протравного раствора, а также местный ионообменный способ очистки сточных вод. Для соответствия экологическим нормам в производствах, все выбросы не должны превышать установленные нормативы предельно допустимых концентраций (ПДК) химических веществ в сточных водах (Amirova N.S. et al., 2025).

На завершающем этапе исследования проведены физико-механические испытания образцов шелковых



а *б (b)*

Рисунок 4 – Цветовой тон и окраски шелка, окрашенного в отваре бузины: а – листья бузины; б – плоды бузины
Figure 4 – Color hue and coloration of silk dyed in an elderberry decoction: a – elderberry leaves; b – elderberries

Таблица 2 – Колористические показатели образцов шелка, окрашенных в отваре листьев бузины
Table 2 – Color characteristics of silk samples dyed in an elderberry leaf decoction

Протравы	Концентрация, % от массы шелка	Интенсивность цвета, K/S	Цветовой тон	Прочность окраски к мокрым обработкам, в баллах	Прочность окраски к трению, в баллах	
					сухой	мокрый
$Fe_2(SO_4)_3$	5,0	7,8	Темно-коричневый	5/5/5	4/5	3/4
$K_2Cr_2O_7$	2,5	9,5	Коричневый	5/5/5	4/5	3/4
$CuSO_4$	3,5	4,4	Ореховый	5/5/5	4/5	3/4
$Ni(NO_3)_2$	5,0	1,6	Бежевый	5/5/5	4/5	3/4
$CoCl_2$	2,5	1,2	Светло-бежевый	5/5/5	4/5	3/4
$Al_2(SO_4)_3$	5,0	1,2	Кремовый	5/5/5	4/5	3/4
$KAl(SO_4)_2$	3,5	1,0	Кремовый	5/5/5	4/5	3/4
$SnCl_2$	5,0	1,8	Светло-желтый	5/5/5	4/5	3/4

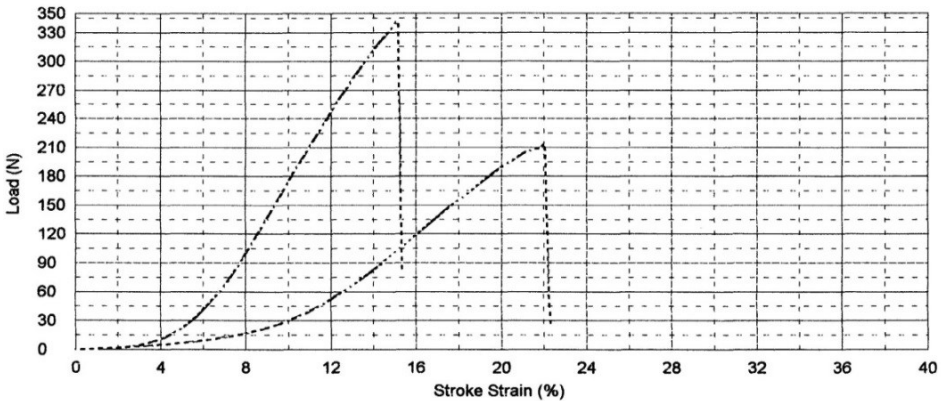
тканей, окрашенных природным красителем на основе листьев и плодов бузины, с целью оценки влияния процесса крашения на их прочностные характеристики.

На рисунке 5 а, б представлены кривые зависимости разрывной нагрузки от относительного удлинения (Stroke–Strain) для исходных и окрашенных образцов шелковой ткани природными красителями на основе плодов бузины с последующим протравлением солью $Fe_2(SO_4)_3$ (5%-й концентрации).

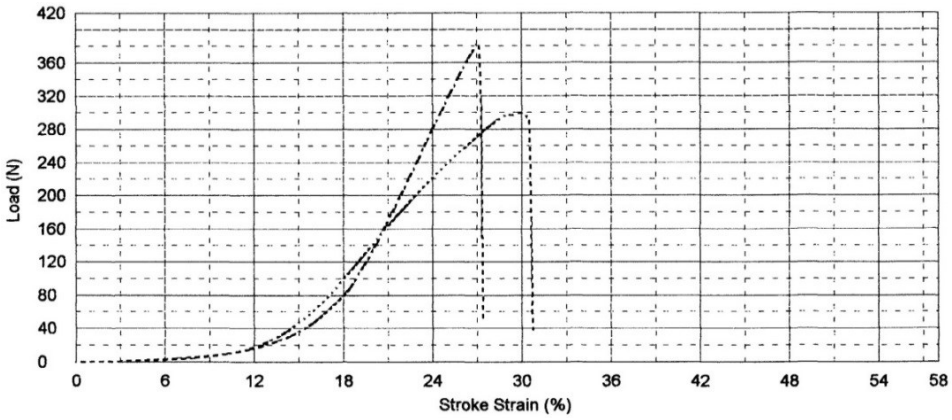
Анализ полученных данных показывает, что после крашения отварами плодов бузины черной наблюдается увеличение максимальной разрывной нагрузки как по основе, так и по утку. Для окрашенных образцов характерны более высокие значения нагрузки при больших деформациях, что свидетельствует об упрочнении структуры шелкового материала. Кроме того, отмечается увеличение предельного удлинения до момента разрушения, что указывает на сохранение и даже некоторое

Таблица 3 – Колористические показатели образцов шелка, окрашенных в отваре плодов бузины
Table 3 – Color characteristics of silk samples dyed in an elderberry fruit decoction

Протравы	Концентрация, % от массы шелка	Интенсивность цвета, K/S	Цветовой тон	Прочность окраски к мокрым обработкам, в баллах	Прочность окраски к трению, в баллах	
					сухой	мокрый
$Fe_2(SO_4)_3$	5,0	4,9	Темно-зеленый	5/5/5	4/5	3/4
$K_2Cr_2O_7$	2,5	2,3	Серовато-зеленый	5/5/5	4/5	3/4
$CuSO_4$	3,5	2,5	Оливковый	5/5/5	4/5	3/4
$Ni(NO_3)_2$	5,0	1,7	Темно-бежевый	5/5/5	4/5	3/4
$CoCl_2$	2,5	1,5	Синий	5/5/5	4/5	3/4
$Al_2(SO_4)_3$	5,0	1,3	Синий	5/5/5	4/5	3/4
$KAl(SO_4)_2$	3,5	1,2	Фиолетовый	5/5/5	4/5	3/4
$SnCl_2$	5,0	2,1	Фиолетовый	5/5/5	4/5	3/4



а



б (b)

Рисунок 5 – Кривые прочности на разрыв по утку и основе:
а – на исходных; б – окрашенных природными красителями образцов, измеренных на приборе Autograf AG–1
Figure 5 – Tensile strength curves in the weft and warp:
a – directions for untreated; b – natural-dye-treated samples, measured using an Autograf AG–1 instrument

повышение эластичности волокон после обработки природными красителями.

Установлено, что зафиксированное экспериментально упрочнение шелковой ткани носит комплексный характер и достигается за счет суммарного эффекта усадочных процессов (структурного уплотнения ткани и уменьшения расстояний между нитями) и, главным образом, химического модифицирования белковой макромолекулы шелка. Образование дополнительных межмолекулярных, водородных и прочных координационных связей с участием ионов железа (Fe^{3+}) и активных компонентов растительного экстракта бузины (полифенолов и органических кислот) приводит к сшиванию цепей фиброина. Увеличение количества таких связей эффективно препятствует взаимному проскальзыванию макромолекул при деформации, что непосредственно способствует повышению прочностных характеристик материала.

Аналогичная динамика наблюдается и для остальных образцов, окрашенных природными красителями на основе плодов и листьев бузины с последующей обработкой всеми исследуемыми протравными солями, представленными в таблицах 2 и 3.

Полученные результаты подтверждают, что применение натуральных красителей не оказывает негативного влияния на механические свойства шелковой ткани, а напротив, способствует повышению прочности материала на 7,85 % по утку и на 12,08 % по основе, что делает данный способ крашения перспективным как с экологической, так и с технологической точки зрения.

Выводы

На основе поисковых опытов для исследованных нами протрав удалось снизить их концентрации до 2,5–5,0 % от массы шелка. Цвета, полученные при крашении в отваре листьев бузины, коричневые, разных оттенков и светлоты для протрав (Fe^{3+}, Cr^{6+}, Cu^{2+}), а для остальных – светлые и постельных бежевых тонов. Более интересные и насыщенные цвета образуются при крашении шелка в отваре плодов бузины – оливковые, зеленые, синие, фиолетовые тона в зависимости от природы протравы.

Показана возможность получения насыщенных и прочных окрасок на шелке с применением отваров листьев и плодов бузины черной. На основе исследования концентрации различных солей, применяемых в качестве протравы при крашении в отварах вышеуказанных растений, показана возможность снижения концентрации солей от традиционных 7–14 % от массы шелка до 1,5–5 % от массы шелка. При крашении шелковых тканей природными красителями установлено повышение прочностных характеристик на 7,85 и 12,08 % по утку и основе соответственно.

В результате внедрения предлагаемой технологии достигается социальный и экологический эффект за счет возможности реализации готовой продукции новых ассортиментов, обеспечивая дополнительную прибыль, а также создаются благоприятные условия для рабочих в производстве, снижается загрязнение сточных вод.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абель, А. (2021). История красителей и пигментов: от натуральных красителей до высокоэффективных пигментов. *Книга цветового дизайна*. С. 557–587.

Бурак, Л.Ч. (2020). Использование сока бузины в производстве продуктов питания. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, № 3, С. 38–44.

Гулраджани, М.Л., Гупта, С., Гупта. Д., Мутрикар, Н.В., Рафаи, Т, Джейн, М. и Капила, Х. (1992). *Натуральные красители и их применение к текстилю*. Дели: Индийский технологический институт, Республика Индия.

Исламова, З.Ш., Амирова, Н.С. и Набиева, И.А. (2020). Возможность окрашивания шерсти природными красителями. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1, Естественные и технические науки*, № 2, С. 99–102.

Исламова, З.Ш. (2021). Крашение мареной. *Инновационные направления развития науки о полимерных волокнистых и композиционных материалах*. Санкт-Петербург: СПбГУПТД, С. 42–43.

Ишунина, Т.А. и Боева, С.Г. (2017). Разработка технологии приготовления и применения гистологических красителей на основе экстрактов бузины черной, бархатцев распростертых и донника лекарственного. *Химия растительного сырья*, № 2, С. 167–169.

Курдюков, Е.Е., Финаёнова, Н.В., Неклюдова, В.А., Гаранина, Е.О. и Бодрова, Д.Д. (2023). Физико-химические свойства флавоноидов. *Международный научно-исследовательский журнал*, № 11 (137), С. 136–141.

Митишев, А.В., Курдюков, Е.Е., Семенова, Е.Ф., Феднина, А.С. и Евтушенко, А.И. (2023). Идентификация и количественное определение флавоноидов в биомассе хлореллы. *Вестник Смоленской государственной медицинской академии*, Т. 22, № 3, С. 193–199.

Abdukarimova, M.Z., Nabieva, I.A. and Ismoilova, G.X. (2015). *To'qimachilik mahsulotlarini pardozlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg'ulotlar uchun o'quv qo'llanma*. Toshkent: TTESI bosmaxonasi, O'zbekiston.

Amirova, N.S. (2022a). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022b). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022c). New eco-friendly paper assortments for coloring with natural dyes. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" Global Precision Ag Innovation*. Springer, vol. 2, pp. 2061–2074.

Amirova N.S. and Raxmonova S.R. (2024). Eco dyeing of cotton knitwear. *O'zbekiston To'qimachilik Jurnali*, № 2, pp. 117–124. ISSN 2010-6262.

Amirova, N.S., Shin, I.G., Mirzakhmedova, M.X. and Raxmonova, S.R. (2025). Mathematical planning of the process of dyeing knitted fabric with natural dyes. *Proceedings of the IV International Conference on Advances in Science, Engineering, and Digital Education*. AIP Conf. Proc. 3268, 030021-1-030021-8.

Ferreira-Santos, P., Badim, H., Salvador, A.C., Silvestre, A. J. D., Santos, S. A. O., Rocha, S.M., Sousa, A.M., Pereira, M.O., Wilson, C.P., Rocha, C.M., Teixeira and J.A., Botelho, C. (2021). Chemical characterization of Sambucus nigra L. flowers aqueous extract and it s biological implications. *Biomolecules*, 11 (8), pp. 1222.

Godlewska, K., Pacyga, P., Najda, A. and Michalak, I. (2023). Investigation of chemical constituents and antioxidant activity of biologically active plant-derived natural products. *Molecules*, 28 (14), pp. 5572.

Versha, V. (2023). *Рынок натуральных красителей*. Kings Research, [Online], URL: https://www.kingsresearch.com/ru/natural-dyes-market-1455 (Accessed: 05.02.26).

REFERENCES

Abel, A. (2021). History of dyes and pigments: from natural dyes to high-performance pigments [Istoriya krasitelej i pigmentov: ot natural'nyh krasitelej do vysokoeffektivnyh pigmentov]. *Kniga Cvetovogo dizajna = In:Color Design*, pp. 557–578 (In Russian).

Burak, L.Ch. (2020). Use of elderberry juice in food production [Ispol'zovanie soka buziny v proizvodstve produktov pitaniya]. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya = Technologies for the food and agro-processing industries – healthy food products*, no. 3, pp. 38–44 (In Russian).

Gulrajani, M.L., Gupta, S., Gupta, D., Mutrikar, N.V., Rafai, T., Jain, M., and Kapila, H. (1992). *Natural'nye krasiteli i ih primenenie k tekstilyu* [Natural dyes and their application to textiles]. Delhi: Indian Institute of Technology, Republic of India (In Russian).

Islamova, Z.Sh., Amirova, N.S., and Nabieva, I.A. (2020). Possibility of dyeing wool with natural dyes [Vozmozhnost' okrashivaniya shersti prirodnymi krasitelyami]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1, Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Bulletin of Saint Petersburg State University of Technology and Design. Series 1, Natural and Technical Sciences*, no. 2, pp. 99–102 (In Russian).

Islamova, Z.Sh. (2021). Dyeing with madder [Krashenie marenoj]. *Innovatsionnye napravleniya razvitiya nauki o polimernykh voloknistykh i kompozitsionnykh materialakh = Innovative directions in the development of the science of polymer fibrous and composite materials*. St. Petersburg: SPbGUPTD, pp. 42–43. (In Russian).

Ishunina, T.A. and Boeva, S.G. (2017). Development of a technology for the preparation and application of histological stains based on extracts of black elderberry, spreading marigold, and yellow sweet clover [Razrabotka tekhnologii prigotovleniya i primeneniya gistologicheskih krasitelej na osnove ekstraktov buziny chernoj, barhatcev rasprostertyh i donnika lekarstvennogo]. *Khimiya rastitelnogo syrya = Chemistry of Plant Raw Material*, no. 2, pp. 167–169 (In Russian).

Kurdyukov, E.E., Finayonova, N.V., Neklyudova, V.A., Garanina, E.O. and Bodrova, D.D. (2023). Physicochemical properties of flavonoids [Fiziko-himicheskie svojstva flavonoidov]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatelskiy zhurnal = International Research Journal*, no. 11 (137), pp. 136–141 (In Russian).

Mitishev, A.V., Kurdyukov, E.E., Semenova, E.F., Fednina, A.S. and Evtushenko, A.I. (2023). Identification and quantitative determination of flavonoids in *Chlorella* biomass [Identifikaciya i kolichestvennoe opredelenie flavonoidov v biomasse hlorelly]. *Vestnik Smolenskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii = Bulletin of the Smolensk State Medical Academy*, vol. 22, no. 3, pp. 193–199. (In Russian).

Abdukarimova, M.Z., Nabieva, I.A. and Ismoilova, G.X. (2015). *To'qimachilik mahsulotlarini pardozlash kimyoviy texnologiyasi fanidan laboratoriya va amaliy mashg'ulotlar uchun o'quv qo'llanma*. Toshkent: TTESI bosmaxonasi, O'zbekiston.

Amirova, N.S. (2022a). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022b). The possibility of coloring and parenting sanitary-hygienic paper with natural dyes. *European International Journal of Multidisciplinary Research and Management Studies*, vol. II, iss. X, pp. 276–280.

Amirova, N.S. (2022c). New eco-friendly paper assortments for coloring with natural dyes. In: *XV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2022" Global Precision Ag Innovation*. Springer, vol. 2, pp. 2061–2074.

Amirova N.S. and Raxmonova S.R. (2024). Eco dyeing of cotton knitwear. *O'zbekiston To'qimachilik Jurnali*, no. 2, pp. 117–124. ISSN 2010-6262.

Amirova, N.S., Shin, I.G., Mirzakhmedova, M.X. and Raxmonova, S.R. (2025). Mathematical planning of the process of dyeing knitted fabric with natural dyes. *Proceedings of the IV International Conference on Advances in Science, Engineering, and Digital Education*. AIP Conf. Proc. 3268, 030021-1–030021-8.

Ferreira-Santos, P., Badim, H., Salvador, A.C., Silvestre, A. J. D., Santos, S. A. O., Rocha, S.M., Sousa, A.M., Pereira, M.O., Wilson, C.P., Rocha, C.M., Teixeira, J.A. and Botelho, C. (2021). Chemical characterization of Sambucus nigra L. flowers aqueous extract and it s biological implications. *Biomolecules*, 11 (8), pp. 1222.

Godlewska, K., Pacyga, P., Najda, A. and Michalak, I. (2023). Investigation of chemical constituents and antioxidant activity of biologically active plant-derived natural products. *Molecules*, 28 (14), pp. 5572.

Versha V. (2023). *Natural colorants market* [Rynok natural'nyh krasitelej]. Kings Research, [Online], URL: https://www.kingsresearch.com/ru/natural-dyes-market-1455 (Accessed: 05.02.26) (In Russian).

Информация об авторах Information about the authors

Амирова Нодира Саликовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Охрана труда и экология», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.
E-mail: amirova.77@mail.ru

Назирова Хилола Рустамовна
Студент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.
E-mail: hilola1722@gmail.com

Nodira S. Amirova
Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Occupational Safety and Ecology", Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.
E-mail: amirova.77@mail.ru

Khilola R. Nazirova
Student, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.
E-mail: hilola1722@gmail.com

УДК 620.9:338.2 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-64-78

Теоретико-методологические основы исследования устойчивого развития энергетики

А. Д. Матюшенко[1], **Т. Г. Зорина**[2]

[1]*Белорусский государственный университет,*
[2]*Институт энергетики Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь*

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью концептуального осмысления процессов трансформации энергетических систем в контексте глобальных целей устойчивого развития. Энергетика, являясь основой функционирования экономики, одновременно выступает ключевым источником антропогенного воздействия на окружающую среду, что порождает внутреннее противоречие между экономическими, социальными и экологическими факторами её развития. Постановка проблемы заключается в разобщенности понятийного аппарата, используемого для описания желаемого состояния энергетической системы, её диагностики и путей трансформации, что затрудняет формирование целостной теоретической основы для исследований в данной области. Цель работы состоит в теоретико-методологическом обосновании взаимосвязи трёх ключевых концепций – устойчивого энергетического развития, энергетической трилеммы и энергетического перехода, а также разработке на этой основе интегрированной концептуальной модели. Методы исследования включают системный и сравнительный анализ научной литературы, синтез теоретических подходов, метод концептуального моделирования. Полученные результаты: систематизированы и уточнены определения исследуемых категорий; выявлена внутренняя структура и противоречия устойчивого энергетического развития; обоснована роль энергетической трилеммы как инструмента операционализации и диагностики; проанализирована многоуровневая природа энергетического перехода; разработана авторская концептуальная схема, устанавливающая логическую связь «целевой ориентир – диагностический инструмент – механизм реализации», а также систематизирующая таблица, соотносящая компоненты устойчивого развития с измерениями трилеммы, типами трансформации и конкретными инструментами энергетической политики. Предложенная модель создаёт теоретическую основу для последующей оценки вклада возобновляемых источников энергии в устойчивое развитие национальной экономики.

Ключевые слова: устойчивое энергетическое развитие, энергетическая трилемма, энергетический переход, энергетический сектор, энергетическая безопасность, энергетическая справедливость, экологическая устойчивость.

Информация о статье: поступила 7 апреля 2026 года.

Theoretical and methodological foundations for the study of sustainable development in the energy sector

Angelina D. Matsiushenka, Tatsiana G. Zoryna

[1]*Belarusian State University,*
[2]*Institute of Power Engineering, National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus*

Abstract. The relevance of this study stems from the need for a conceptual understanding of the transformation processes within energy systems in the context of the global sustainable development goals. The energy sector, being the foundation of the economy, is simultaneously a key source of human impact on the environment, which creates an inherent contradiction between the economic, social and environmental factors of its development. The problem lies in the fragmentation of the conceptual framework used to describe the desired state of the energy system, its diagnosis and pathways for transformation, which hinders the formation of a coherent theoretical basis for research in this field. The aim of this work is to provide a theoretical and methodological justification for the interrelationship between three key concepts – sustainable energy development, the energy trilemma and the energy transition – and to develop an integrated conceptual model on this basis. The research methods include a systematic and comparative analysis of the scientific literature, a synthesis of theoretical approaches, and conceptual modelling. The results obtained are as follows: the

definitions of the categories under study have been systematised and refined; the internal structure and contradictions of sustainable energy development have been identified; the role of the energy trilemma as a tool for operationalisation and diagnosis has been substantiated; the multi-level nature of the energy transition has been analysed. Original conceptual framework has been developed, establishing a logical link between 'target benchmark – diagnostic tool – implementation mechanism', as well as a systematic table correlating the components of sustainable development with the dimensions of the trilemma, types of transformation and specific energy policy instruments. The proposed model provides a theoretical basis for the subsequent assessment of the contribution of renewable energy sources to the sustainable development of the national economy.

Keywords: sustainable energy development, the energy trilemma, the energy transition, the energy sector, energy security, energy justice, environmental sustainability.

Article info: received April 7, 2026.

Введение

Энергетический сектор играет системообразующую роль в достижении Целей устойчивого развития. Однако общая концепция устойчивого развития, будучи применённой к энергетике, требует дальнейшей конкретизации, учитывающей отраслевую специфику. Это обусловлено двойственной природой энергетики: с одной стороны, она является фундаментальной основой функционирования экономики и обеспечения качества жизни населения, с другой – одним из основных источников антропогенного воздействия на окружающую среду, прежде всего в части выбросов парниковых газов (Iddrisu and Bhattacharyya, 2015; Munasinghe, 2009).

В современной научной литературе устойчивое энергетическое развитие (УЭР) определяется как процесс использования энергетических ресурсов для нужд человечества таким образом, который делает общее развитие более устойчивым. Как подчеркивают И. Идрису и С. Бхаттачарья, УЭР представляет собой критически важный компонент достижения Целей устойчивого развития (особенно ЦУР 7 и 13), направленный на поддержание экономического и социального прогресса при одновременной защите окружающей среды и смягчении последствий изменения климата (Iddrisu and Bhattacharyya, 2015).

Более развернутое определение предлагает М. Мунасингхе, автор методологии «устойчивая экономика/устойчивое развитие» (sustainomics): устойчивое энергетическое развитие предполагает такое использование энергетических ресурсов, которое удовлетворяет потребности настоящего поколения в доступных и надежных энергетических услугах, не подрывая способность будущих поколений удовлетворять свои собственные энергетические потребности (Munasinghe, 2009). В этом определении отчетливо прослеживается преемственность с классической формулировкой комиссии Брундтланд (Mensah, 2019), что представляет собой отраслевую конкретизацию общей концепции устойчивого развития.

Значительный вклад в развитие теоретических положений применительно к национальным условиям вносит белорусская научная школа. Т. Г. Зорина предлагает рассматривать устойчивое энергетическое развитие как улучшение саморегулирующейся системы энергоснабжения и энергопотребления, обеспечивающей энергетическую безопасность, одинаково доступное удовлетворение энергетических потребностей и стремлений всех слоев общества к сохранению окружающей среды (Зорина, 2022).

Ценность данного определения для настоящего исследования заключается в нескольких аспектах. Во-первых, оно органично синтезирует три классических компонента устойчивого развития – экономический (через категорию «энергетическая безопасность»), социальный (доступность энергии для всех слоев) и экологический (сохранение окружающей среды), что коррелирует с изложенной выше концепцией энергетической трилеммы. Во-вторых, акцент на «саморегулирующейся системе» и процессе «улучшения» подчеркивает динамический характер УЭР, требующий постоянного мониторинга и адаптации управленческих решений. В-третьих, для комплексной оценки исследователь предлагает трехуровневый подход – государство, отрасли, предприятия (Зорина, 2015), что позволяет, в рамках данного исследования, сфокусироваться на макроэкономическом уровне – оценке вклада ВИЭ в устойчивое развитие национальной экономики в целом.

Ключевая особенность УЭР заключается в необходимости одновременного учета трех взаимосвязанных и часто противоречивых групп требований, образующих его внутреннюю структуру:

1. Экономическая эффективность УЭР предполагает обеспечение результативности энергетического сектора, его способности функционировать и развиваться без дотационной нагрузки на бюджет, привлечения инвестиций в модернизацию инфраструктуры и внедрение инновационных технологий. Важнейшим индикатором здесь выступает снижение энергоемкости ВВП, то есть достижение эффекта декаплинга (Shirazi, 2025; Munasinghe, 2009).

2. Социальная значимость УЭР ориентирована на обеспечение всеобщего доступа к современным энергетическим услугам по приемлемым ценам (энергетическая бедность является серьезным барьером для развития человеческого потенциала), а также на учет социальных последствий трансформации энергетики, включая вопросы «справедливого перехода» (just transition) для работников, занятых в традиционных отраслях топливно-энергетического комплекса (Heffron and McCauley, 2014; Heffron, McCauley and Sovacool, 2015).

3. Экологическая ответственность УЭР направлена на минимизацию негативного воздействия энергетики на окружающую среду на всех стадиях жизненного цикла – от добычи ресурсов до генерации, передачи и утилизации отходов. Ключевыми приоритетами выступают снижение выбросов парниковых газов (декарбонизация), сокращение загрязнения воздуха и воды, а также рациональное использование земельных и водных ресурсов (Iddrisu and Bhattacharyya, 2015; Кочинян, 2025).

Три описанные составляющие устойчивого энергетического развития не просто дополняют друг друга, но зачастую и противоречат одна другой. Так, активный переход на возобновляемые источники энергии требует крупных инвестиций, что может привести к росту тарифов для потребителей и снижению ценовой доступности энергии. Именно эта внутренняя конфликтность целей делает необходимой разработку специальных инструментов оценки, позволяющих находить баланс. Таким инструментом, к рассмотрению которого мы переходим, выступает концепция энергетической трилеммы.

В современной научной литературе устойчивое энергетическое развитие всё чаще понимается не как статичное состояние, а как динамический процесс – своего рода «дорожная карта» движения к новой энергетической реальности (Munasinghe, 2009; Verbong and Geels, 2007). Обобщая подходы М. Мунасингхе, И. Иддрису и результаты современных исследований энергетического перехода (Shirazi, 2025), можно определить УЭР как процесс, направленный на достижение энергетической безопасности и, как следствие, экономического процветания и социальной стабильности.

Переходный характер устойчивого энергетического развития проявляется в нескольких аспектах (Ferdous and Barman, 2025; Carmon et al., 2025; Cherp et al., 2018):

– технологический переход: замещение ископаемых видов топлива низкоуглеродными источниками (возобновляемые источники энергии, атомная энергетика), внедрение систем накопления энергии, развитие «умных» сетей (smart grids), повышение энергоэффективности во всех секторах экономики;

– институциональный переход: адаптация законодательства и рыночных механизмов к новым условиям, включая внедрение углеродного регулирования, механизмов поддержки «зеленой» энергетики и стимулирование инвестиций в устойчивые энергетические проекты;

– социокультурный переход: изменение моделей поведения потребителей, рост энергосбережения, вовлечение граждан и местных сообществ в производство энергии (развитие энергетических сообществ и просьюмеризма).

Для трансформации концепции устойчивого энергетического развития (УЭР) из теоретической абстракции в действенный инструмент управления необходима ее операционализация – разработка системы показателей (индикаторов) и соответствующего оценочного инструментария, позволяющих измерять прогресс и выявлять дисбалансы (Iddrisu and Bhattacharyya, 2015; Heffron, McCauley and Sovacool, 2015).

Таким образом, несмотря на наличие обширной литературы по каждой из рассматриваемых концепций, их взаимосвязь остается недостаточно проработанной. Цель настоящей статьи – теоретико-методологическое обоснование взаимосвязи трёх ключевых концепций: устойчивого энергетического развития, энергетической трилеммы и энергетического перехода, и разработка на этой основе интегрированной концептуальной модели.

Методы и средства исследований

Теоретико-методологическую основу исследования составили фундаментальные положения теорий устой-

чивого развития, институциональной экономики и эволюционной теории технологических изменений. В работе использован комплекс методов научного познания:

а) системный анализ – для рассмотрения энергетической системы как сложного многоуровневого объекта;

б) сравнительный анализ – для сопоставления различных подходов к определению ключевых понятий;

в) метод синтеза – для интеграции концепций устойчивого энергетического развития, энергетической трилеммы и энергетического перехода в единую теоретическую схему;

г) метод концептуального моделирования – для визуализации взаимосвязей между исследуемыми категориями;

д) метод систематизации – для построения классификационной таблицы, в которой соотнесены компоненты устойчивого развития с типами трансформации и инструментами энергетической политики.

Информационную базу составили научные публикации в рецензируемых журналах, индексируемых в международных базах данных (Scopus, Web of Science), материалы международных организаций (Мировой энергетический совет, ООН), а также работы белорусских исследователей по проблемам устойчивого развития энергетики.

В рамках исследования был проведён анализ существующих методических подходов к оценке устойчивого развития энергетики, разработанных международными организациями. Многие из этих подходов были разработаны такими организациями, как ОЭСР, МАГАТЭ и Европейское агентство по окружающей среде. К наиболее известным из них относятся:

– PSR (Pressure-State-Response) – модель «давление – состояние – реакция», которая была разработана в 1970-е годы для оценки воздействия на окружающую среду. Она отражает давление, оказываемое энергетическим сектором на природу, изменения состояния окружающей среды и меры, принятые для решения возникших проблем.

– DSR (Driving Force-State-Response) – модель «движущая сила – состояние – реакция», предложенная Комиссией ООН по устойчивому развитию. В отличие от абстрактного понятия «давления», здесь акцент делается на конкретных движущих силах изменений: экономический рост, рост населения, технологические изменения.

– DPSIR (Driving Force-Pressure-State-Impact-Response) – расширенная модель «движущая сила – давление – состояние – воздействие – реакция», используемая Европейским агентством по охране окружающей среды. Ее дополняет компонент «воздействие», который позволяет оценить последствия изменений состояния окружающей среды для здоровья человека, экосистем и экономики.

Параллельно с созданием методических подходов осуществлялась разработка систем индикаторов. МАГАТЭ совместно с другими международными организациями был разработан и апробирован в 15 странах «комплект индикаторов устойчивого энергетического развития» (Iddrisu and Bhattacharyya, 2015), включающий:

– экономические индикаторы (энергоемкость, доля импорта в энергобалансе, диверсификация источников);

– социальные индикаторы (доля домохозяйств, не имеющих доступа к электричеству, доля дохода, расходуемая на энергоуслуги, занятость в энергетическом секторе);

– экологические индикаторы (выбросы парниковых газов, загрязнение воздуха, использование земель под энергетическую инфраструктуру).

Анализ этих подходов позволил обосновать выбор концепции энергетической трилеммы как наиболее адекватного инструмента для интегральной диагностики устойчивости энергетической системы.

Результаты исследований

Устойчивое энергетическое развитие как комплексная целевая установка, объединяющая экономические, социальные и экологические требования, нуждается в операционализации – переводе теоретических положений на язык измеримых параметров. Такой инструментарий должен позволять диагностировать текущее состояние энергетической системы и оценивать степень её приближения к устойчивому состоянию. Одним из наиболее признанных подходов к решению этой задачи в мировой науке выступает концепция энергетической трилеммы.

Концепция энергетической трилеммы была разработана Мировым энергетическим советом совместно с консалтинговой компанией Oliver Wyman Group в начале 2010-х годов как ответ на растущую сложность управления энергетическими системами в условиях глобальных вызовов (Heffron and McCauley, 2014). Как отмечается в методологических документах WEC, необходимость раз-

работки данной концепции была обусловлена фундаментальным противоречием: энергетическая политика любого государства вынуждена одновременно преследовать три цели, которые зачастую вступают в конфликт друг с другом.

С 2010 года Мировой энергетический совет ежегодно публикует индекс энергетической трилеммы, который ранжирует страны по степени их успешности в достижении баланса между тремя ключевыми измерениями. К настоящему времени индекс охватывает более 120 стран, что делает его одним из наиболее репрезентативных инструментов сравнительного анализа в глобальном масштабе. Методология индекса постоянно совершенствуется, отражая изменения в понимании устойчивости энергетических систем и появление новых вызовов.

Энергетическая трилемма включает три взаимосвязанных, но потенциально конфликтующих измерения, каждое из которых представляет собой самостоятельную ценность и цель энергетической политики (Heffron and McCauley, 2014; Sovacool and Mukherjee, 2011).

1. Энергетическая безопасность

Данное измерение характеризует способность государства обеспечивать надежное и бесперебойное снабжение энергией по доступным ценам в краткосрочной и долгосрочной перспективе. В рамках методологии WEC энергетическая безопасность оценивается по следующим группам показателей:

– надежность инфраструктуры: эффективность работы генерирующих мощностей, уровень потерь при передаче и распределении, частота и продолжительность перебоев в энергоснабжении;

– диверсификация: степень разнообразия первичных источников энергии (доля различных видов топлива в энергобалансе) и поставщиков, что снижает риски, связанные с зависимостью от одного источника или маршрута поставок;

– устойчивость к внешним шокам: способность системы противостоять природным катаклизмам, техногенным авариям и геополитическим кризисам;

– степень самообеспеченности: доля собственных энергоресурсов в общем потреблении, уровень зависимости от импорта.

Как подчёркивают Б. К. Совакул и И. Мукерджи (Sovacool and Mukherjee, 2011), а также ряд других исследователей (Heffron, McCauley and Sovacool, 2015), для стран с высокой долей импорта энергоресурсов (к числу которых относится и Беларусь) обеспечение энергетической безопасности является критическим приоритетом, требующим постоянного мониторинга и превентивных мер.

2. Энергетическая справедливость

Второе измерение трилеммы фокусируется на социальных аспектах энергетики, а именно на доступности энергии для всех слоев населения. Энергетическая справедливость оценивается через призму трех ключевых аспектов:

– физическая доступность: наличие развитой инфраструктуры, обеспечивающей подключение к сетям всех домохозяйств и предприятий; в глобальном масштабе данный показатель остается актуальным для развивающихся стран, где миллионы людей не имеют доступа к электричеству;

– ценовая доступность: доля доходов домохозяйств, расходуемая на оплату энергетических услуг (электроэнергия, отопление, топливо); высокие тарифы могут приводить к энергетической бедности, когда домохозяйства вынуждены ограничивать потребление энергии в ущерб качеству жизни;

– качество энергоснабжения: стабильность напряжения, отсутствие перебоев, соответствие параметров энергии установленным стандартам.

Следует подчеркнуть, что обеспечение энергетической справедливости не сводится исключительно к субсидированию тарифов, что может искажать рыночные сигналы и сдерживать инвестиции (Heffron, McCauley и Sovacool, 2015). Речь идет о создании системы, которая обеспечит баланс между социальной защитой уязвимых групп населения и экономической эффективностью.

3. Экологическая устойчивость

Третий аспект этой трилеммы отражает масштаб воздействия энергетического сектора на климат и окружающую среду. В соответствии с методологией Всемирного энергетического совета (WEC) этот элемент оценивается на основе следующих критериев:

– декарбонизация – объем выбросов парниковых газов (CO_2 и других) в пересчете на единицу произведенной энергии, тенденции изменений, а также степень соответствия национальных обязательств климатическим целям, установленным в Парижском соглашении;

– эффективность использования ресурсов – общая и детальная потребность экономики в энергии, а также уровень потерь, возникающих при преобразовании и транспортировке энергии;

– доля источников с низким уровнем выбросов углекислого газа – доля возобновляемой энергии и атомной энергии в общем объеме производства;

– воздействие на экосистемы – загрязнение воздуха, воды и почвы, вызванное добычей, транспортировкой и сжиганием топлива, а также вопросы, связанные с управлением отходами.

На основе описанных трех измерений Мировой энергетический совет рассчитывает интегральный индекс энергетической трилеммы, который позволяет проводить сравнительный анализ стран и отслеживать динамику изменений во времени. Методология расчета индекса включает следующие этапы (Heffron and McCauley, 2014).

На первом этапе по каждому из трех измерений рассчитываются субиндексы на основе набора количественных показателей. Источниками данных выступают международные статистические базы (Международное энергетическое агентство, Всемирный банк, национальная статистика стран), а также экспертные оценки.

На втором этапе производится нормализация показателей для приведения их к сопоставимому виду. Используется метод min-max нормализации, позволяющий преобразовать значения различных шкал в единый диапазон от 0 до 100.

На третьем этапе субиндексы агрегируются в итоговый индекс. Важной методологической особенностью является то, что итоговый рейтинг строится не только на основе среднего арифметического трех компонентов, но и с учетом сбалансированности. Страна может иметь высокие показатели по двум измерениям, но низкие по третьему – итоговый рейтинг будет учитывать этот дисбаланс как негативный фактор, поскольку устойчивое развитие требует гармоничного прогресса по всем направлениям. Практическое применение рассмотренной методики сопряжено с объективными трудностями, связанными со сбором репрезентативных данных по ряду количественных параметров.

Наиболее остро эта проблема проявляется в странах с рыночной экономикой, где открытая статистика по некоторым показателям отсутствует. В частности, к числу таких параметров относятся уровень потерь в электрических сетях и доля доходов населения, направляемая на оплату энергетических услуг. Недостаточная полнота исходной информации способна существенно исказить результаты расчёта субиндексов – обстоятельство, значимое и для Республики Беларусь.

Теоретическая значимость концепции энергетической трилеммы заключается в том, что она выявляет фундаментальный конфликт, присущий трём ключевым целям энергетической политики. Эмпирические наблюдения свидетельствуют: улучшение позиций по одному из измерений нередко достигается за счёт ухудшения показателей по двум другим, что объективно порождает необходимость поиска баланса между разнонаправленными приоритетами.

В научной литературе устоялось несколько классических примеров подобных противоречий (Heffron and McCauley, 2014; Heffron, McCauley and Sovacool, 2015).

Первое из них – противоречие между экологической устойчивостью и энергетической справедливостью. Форсированное развитие возобновляемой энергетики требует масштабных инвестиций и субсидий, что в ряде случаев приводит к повышению тарифов для конечных потребителей и снижению ценовой доступности энергии. Особую остроту эта проблема приобретает в странах с высоким уровнем энергетической бедности.

Второе – противоречие между экологической устойчивостью и энергетической безопасностью. Высокая доля солнечной и ветровой генераций, зависящих от природно-климатических условий, создаёт риски для надёжности энергоснабжения. Минимизация этих рисков требует создания дорогостоящих систем накопления энергии и поддержания резервных мощностей, зачастую на основе ископаемого топлива.

Третье – противоречие между энергетической безопасностью и справедливостью. Стремление к полной энергетической независимости может стимулировать развитие собственных, но экономически неэффективных генерирующих мощностей. Следствием становится рост издержек в секторе, что в конечном счёте ложится дополнительной нагрузкой на потребителей.

Наряду с широким признанием и востребованностью в научной среде, концепция энергетической трилеммы имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при её использовании в исследовательских целях (Cherp et al., 2018).

Одно из них связано с неизбежным абстрагированием от множества факторов. Сведение сложной совокупности параметров к трём интегрированным измерениям упрощает аналитическую картину, оставляя за рамками модели такие значимые аспекты, как институциональная структура энергетического сектора, политические условия и технологическая специфика отдельных стран.

Другое ограничение касается качества исходных данных. Расчёт индекса трилеммы базируется на официальной статистике, методики сбора которой различаются по странам, равно как и степень полноты и достоверности предоставляемой информации. Для государств с формирующейся экономикой проблема наличия репрезентативных данных сохраняет высокую актуальность.

Существенным остаётся и вопрос о весовых коэффициентах. Агрегирование трёх субиндексов в единый показатель неизбежно предполагает присвоение весов, что вносит элемент субъективности. Различные исследовательские коллективы и организации применяют неодинаковые схемы взвешивания, что напрямую влияет на итоговые рейтинговые оценки.

Кроме того, применяемые в большинстве случаев подходы моделируют взаимосвязи между измерениями как линейные, так и статичные, тогда как реальные энергетические системы характеризуются сложными обратными связями и динамическими эффектами, которые подобное упрощение не всегда позволяет учесть.

Таким образом, энергетическая трилемма не просто фиксирует три желаемых состояния энергетической системы, но и демонстрирует неизбежность компромиссов, с которыми сталкиваются субъекты принятия решений. Задача энергетической политики в этом контексте состоит не в максимизации какого-либо одного показателя, а в поиске оптимального баланса, учитывающего национальные приоритеты, ресурсные ограничения и долгосрочные ориентиры устойчивого развития.

При этом она находится в прямом соответствии с тремя компонентами устойчивого развития: энергетическая безопасность коррелирует с экономической стабильностью, энергетическая справедливость – с социальной стабильностью, а экологическая устойчивость – с экологической стабильностью. Тем самым трилемма выступает инструментом операционализации концепции УЭР, переводя её абстрактные категории в измеримые параметры.

Если устойчивое энергетическое развитие задаёт целевые ориентиры, а энергетическая трилемма служит инструментом диагностики, то энергетический переход представляет собой процессуальное измерение – совокупность изменений, посредством которых осуществляется движение к желаемому состоянию энергетической системы. В современной научной литературе энергетический переход рассматривается как трансформация социотехнической системы – совокупности технологий, институтов, практик и культурных норм, связанных с энергообеспечением общества (Ferdous and Barman, 2025; Cherp et al., 2018).

Анализ определений позволяет выделить два ключевых аспекта. Чешско-канадский исследователь Вацлав Смил рассматривает энергетический переход как изменение структуры потребления первичной энергии и постепенный переход от текущей системы энергоснабжения к новой. По его утверждению, энергетические переходы всегда были постепенными и долгосрочными процессами, и переход от углеродных к безуглеродным источникам энергии не станет исключением (Smil, 2016). Смил подчёркивает инерционность энергетических систем: даже при наличии технологических и политических стимулов смена доминирующего источника энергии занимает десятилетия (Матюшенко, 2025).

Иной взгляд предлагает Жан-Батист Фрессоз, который считает энергетический переход скорее политическим, нежели историческим или экономическим процессом. Согласно его трактовке, в человеческой цивилизации не произошло полной смены основных источников энергии – новые энергоносители лишь добавляются к существующим, начиная использоваться в больших масштабах, но старые полностью не исчезают (Fressoz, 2014). Эта позиция созвучна идее о том, что энергопереход – не линейная замена, а накопление и реструктуризация энергетического портфеля.

П. О'Коннор предложил расширенное определение, согласно которому энергетический переход представляет собой набор весьма значительных изменений в структуре энергопотребления общества, способных затронуть многие аспекты энергетической системы: источники энергии, энергоносители, преобразователи энергии и конечные энергетические услуги (O'Connor and Cleveland, 2014). Данный подход акцентирует системность преобразований: переход не сводится к замене одного топлива другим, а охватывает всю технологическую и институциональную инфраструктуру.

Обобщая рассмотренные подходы, можно выделить два ключевых аспекта энергетического перехода: во-первых, это структурные изменения в энергобалансе (Смил, О'Коннор), во-вторых, это политически и социально обусловленный процесс, в рамках которого новые источники не столько замещают старые, сколько добавляются к ним (Фрессоз).

Сложность определения энергетического перехода усугубляется неравномерной и долгосрочной динамикой мировой экономики. Как отмечается в литературе, процесс замены источников энергии растягивается во времени, и внешне он может восприниматься не как замещение, а как прирост: традиционное биотопливо по-прежнему присутствует в энергобалансе, но его доля неуклонно снижается – с 98,28 % в 1800 году до 6,3 % в 2021 году, тогда как потребление угля, достигнув пика, затем уступило место нефти и газу (Макаров и Митрова, 2019).

В прогнозных исследованиях встречается количественный критерий: энергопереходом можно считать 10-процентное сокращение доли рынка определённого энергоресурса за десятилетие (Макаров и Митрова, 2019). Данный критерий удобен для операционализации, однако он не отражает качественных изменений в институциональной и социальной сферах.

Для понимания глубинных механизмов энергетического перехода необходимо обратиться к теоретическим разработкам в области исследований переходов. Ключевой вклад в данное направление внесли работы голландской школы (Р. Кемп, Й. Шот, Ф. Геелс), предложившие многоуровневую перспективу (multi-level perspective – MLP) анализа переходов (Ferdous and Barman, 2025).

Согласно данному подходу, любой технологический переход (включая энергетический) представляет собой результат взаимодействия трех уровней:

1. Ниши – пространства, где возникают радикальные инновации, защищенные от рыночного давления (исследовательские лаборатории, стартапы, пилотные проекты). Именно в нишах вызревают технологии ВИЭ, системы накопления, «умные» сети.

2. Режимы – устоявшиеся практики, технологии, правила и институты, образующие доминирующую конфигурацию энергетической системы (например, централизованное энергоснабжение на базе ископаемого топлива, сложившиеся рынки, нормативная база).

3. Ландшафты – внешняя макросреда, включающая макроэкономические тренды, политические кризисы, климатические изменения, культурные сдвиги, которые создают давление на существующий режим и открывают «окна возможностей» для нишевых инноваций.

Энергетический переход происходит тогда, когда давление со стороны ландшафта (например, осознание климатической угрозы и международные обязательства) дестабилизирует существующий режим, создавая условия для процесса инноваций, вызревших в нишах (Ferdous and Barman, 2025; Cherp et al., 2018). Данная модель позволяет объяснить, почему переходы носят долгосрочный и нелинейный характер: для прорыва новой энергетической технологии требуется одновременное созревание нескольких факторов на разных уровнях.

В развитии мировой энергетики принято выделять четыре глобальных энергетических перехода. С позиции MLP-подхода каждый из них может быть интерпретирован как результат давления ландшафтных факторов (промышленная революция, открытие новых месторождений, климатическая повестка) на существующий энергетический режим (Smil, 2016; Макаров и Митрова, 2019; Еремин, 2023).

Первый энергетический переход (1840–1900 гг.) – от древесины к углю – был следствием промышленной революции и распространения парового двигателя. Доля угля в мировом энергобалансе выросла с 5 % в 1840 году до 50 % в 1900 году, тогда как доля биотоплива (дров) существенно сократилась.

Второй энергетический переход (1915–1975 гг.) – увеличение доли нефти. Спустя более полувека после открытия первого месторождения нефти в 1859 году, в 1960-х годах нефть вытеснила уголь с позиции основного энергоносителя, чему способствовало развитие двигателей внутреннего сгорания и нефтехимии.

Третий энергетический переход (1930–2017 гг.) – расширение использования природного газа. Доля газа в энергобалансе возросла с 3 % в 1930 году до 23 % в 2017 году за счёт частичного вытеснения как угля, так и нефти. Газовая генерация обеспечила более высокую эффективность и меньшее загрязнение окружающей среды по сравнению с угольной.

Четвёртый энергетический переход (2017 г. – настоящее время) – переход к возобновляемым источникам энергии (ветровой, солнечной, приливной и др.). Принципиальное отличие текущего этапа от предыдущих заключается в том, что главной движущей силой выступает не экономическая привлекательность новых источников (хотя она также повышается), а качественно иной фактор – необходимость декарбонизации и борьбы с глобальным изменением климата.

Для теоретического анализа и практического управления энергетическим переходом целесообразно выделить три фундаментальных измерения, образующих его внутреннюю структуру (Ferdous and Barman, 2025; Cherp

et al., 2018; Verbong and Geels, 2007):

1. Технологическая трансформация охватывает сдвиги в способах производства, передачи, распределения и потребления энергии. Она включает развитие возобновляемых источников энергии, систем накопления, «умных» сетей, цифровизацию, повышение энергоэффективности, электрификацию транспорта и промышленности. Именно технологические инновации создают физическую основу для снижения углеродоёмкости экономики.

2. Социокультурная трансформация отражает изменения в поведении, ценностях и ожиданиях людей, а также в социальной структуре. Ключевые аспекты: принятие новых технологий обществом, изменение моделей потребления (энергосбережение, осознанный выбор), вовлечение граждан в производство энергии, а также вопросы справедливого перехода – защиты занятости и доходов работников традиционных отраслей ТЭК.

3. Институционально-политическая трансформация касается изменений в формальных и неформальных правилах, регулирующих энергетику. Сюда относятся международные климатические соглашения (Парижское соглашение), национальные стратегии, законодательство, рыночные механизмы (углеродное ценообразование, зелёные сертификаты), система субсидий и налогов, а также государственное планирование и поддержка инноваций.

Данные измерения находятся в тесной взаимосвязи: технологические инновации требуют институционального оформления и общественного признания; институциональные изменения могут стимулировать или блокировать технологическое развитие; социокультурные сдвиги создают спрос на новые технологии и легитимируют реформы.

Современный этап характеризуется противоречивыми тенденциями. С одной стороны, наблюдается стремительный рост мощностей ВИЭ, увеличение числа автономных энергоисточников, разработка новых технологий (плавучие солнечные электростанции, офшорная ветроэнергетика, зелёный водород). С другой стороны, сохраняется высокая зависимость мировой экономики от ископаемого топлива. Как отмечается в прогнозах, доля угля может сократиться с 39 % в 2015 году до 29–19 % к 2040 году, доля природного газа, напротив, способна возрасти с 23 % до 27 % и более (Макаров и Митрова, 2019). Во многих странах продолжают строить угольные электростанции, что свидетельствует о неготовности крупнейших энергетических стран к полному отказу от ископаемых источников. Это подтверждает тезис Фрессоза о том, что новые источники не замещают старые, а добавляются к ним (Fressoz, 2014).

Нельзя обойти стороной и экологические риски, которые несёт в себе сам энергопереход. Создание крупных генерирующих мощностей на базе солнечной и ветровой энергии способно заметно повлиять на местные экосистемы и климат: например, меняется альбедо земной поверхности, возникает дополнительная нагрузка на популяции птиц. К тому же производство оборудования для возобновляемой энергетики связано с добычей редкоземельных металлов, что формирует новый вид ресурсной нагрузки.

Со временем, когда запасы ископаемого топлива будут исчерпываться, всё большее значение приобретут низкоуглеродные энергоносители – биоэнергетика, «зелёный» водород, а также технологии улавливания и хранения углерода (CCS) (Макаров и Митрова, 2019). Но для их широкого внедрения потребуются серьёзные инвестиции и создание соответствующей инфраструктуры.

Если посмотреть на три ключевых понятия, лежащих в основе этой статьи, между ними прослеживается внутренняя логика. Исходным пунктом здесь выступает устойчивое энергетическое развитие – это своего рода целевой ориентир, желаемая модель энергосистемы, которая на длительную перспективу способна сочетать экономическую эффективность, социальную справедливость и экологическую безопасность. Оценить, насколько реальное состояние приближается к этой модели, позволяет энергетическая трилемма: она переводит абстрактные категории устойчивого развития в три конкретных измеримых параметра – энергетическую безопасность, энергетическую справедливость и экологическую устойчивость. Индекс трилеммы не только фиксирует текущую ситуацию, но и показывает, есть ли дисбаланс между этими тремя измерениями. А сам дисбаланс, равно как и необходимость двигаться к целям устойчивого развития, запускает энергетический переход – комплекс изменений технологического, институционально-политического и социокультурного характера, которые напрямую влияют на параметры трилеммы.

Все три категории связаны между собой как цель, способ её оценки и инструмент достижения (рисунок 1). Меры, принимаемые в рамках энергоперехода, меняют показатели трилеммы; обновлённые данные трилеммы дают возможность оценить результативность этих мер

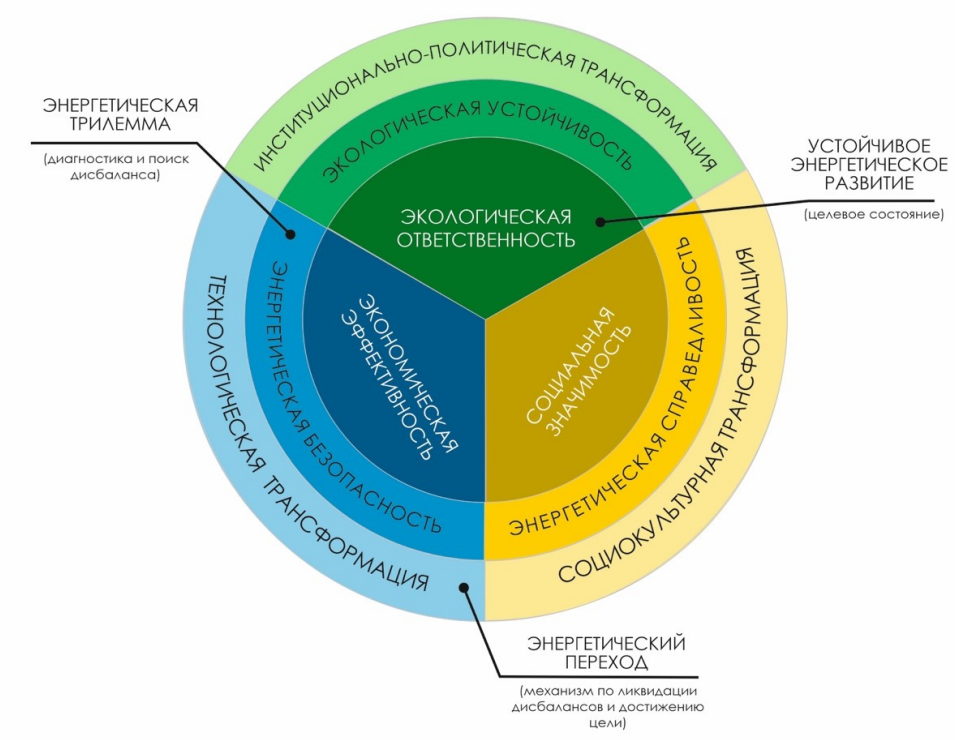


Рисунок 1 – Концептуальная схема взаимосвязи устойчивого энергетического развития, энергетической трилеммы и энергетического перехода
Figure 1 – A conceptual diagram illustrating the relationship between sustainable energy development, the energy trilemma and the energy transition

Источник: авторская разработка.

и, если нужно, скорректировать дальнейшее движение. А сам вектор устойчивого развития может уточняться по мере достижения промежуточных результатов и с учётом изменяющихся внешних условий. Получается, что целевое состояние (устойчивое энергетическое развитие), диагностика и поиск дисбалансов (энергетическая трилемма) и механизм по ликвидации дисбалансов и достижению цели (энергетический переход) находятся в постоянной взаимосвязи и образуют общую концептуальную основу исследования.

Представленная на рисунке концептуальная модель может быть детализирована через установление прямой связи между каждым видом устойчивости, соответствующим ему измерением энергетического перехода и конкретными инструментами реализации. Данная взаимосвязь систематизирована в таблице 1.

Как видно из таблицы 1, каждый из трёх видов устойчивости достигается не абстрактно, а через конкретный, «закреплённый» за ним тип трансформационных процессов и вполне определённый набор инструментов. Экономическая устойчивость обеспечивается прежде всего через технологическую трансформацию: снижение энергоёмкости ВВП (эффект декаплинга), диверсификация источников генерации за счёт развития атомной и возобновляемой энергетики, модернизация сетевой инфраструктуры и цифровизация создают материальную основу для повышения конкурентоспособности и энергетической безопасности.

Социальная устойчивость напрямую зависит от социокультурной трансформации. Сохранение доступных цен (особенно для уязвимых групп населения), программы переквалификации работников традиционного энергетического сектора в рамках концепции «справедливой трансформации», вовлечение граждан в производство энергии и изменение культуры потребления в сторону энергосбережения – все эти меры обес-

Таблица 1 – Систематизация взаимосвязей устойчивого энергетического развития, энергетической трилеммы и энергетического перехода
Table 1 – Classification of the interrelationships between sustainable energy development, the energy trilemma and the energy transition

Компонент устойчивого энергетического развития (целевое состояние)	Соответствующее измерение трилеммы (диагностика и поиск дисбалансов)	Измерение энергетического перехода (механизм по ликвидации дисбалансов и достижению цели)	Конкретные проявления и инструменты
Экономическая эффективность (эффективность, конкурентоспособность, инновационность)	Энергетическая безопасность (надёжность снабжения, диверсификация, независимость от импорта)	Технологическая трансформация (развитие инфраструктуры, новые технологии)	1) Снижение энергоёмкости 2) ВВП (декаплинг) 3) Диверсификация источников (АЭС, ВИЭ) 4) Развитие сетей и цифровизация (smart grids) 5) Внедрение инновационных технологий
Социальная значимость (доступность энергии, справедливость, качество жизни)	Энергетическая справедливость (физическая и ценовая доступность, защита уязвимых групп)	Социокультурная трансформация (изменение поведения, вовлечение общества)	1) Доступные тарифы и адресная поддержка 2) Программы переобучения («справедливый переход») 3) Вовлечение граждан (просьюмеризм) 4) Изменение культуры потребления
Экологическая ответственность (снижение выбросов, сохранение экосистем)	Экологическая устойчивость (декарбонизация, доля ВИЭ, углеродоёмкость)	Институционально-политическая трансформация (нормативная база, регулирование)	1) Углеродное регулирование и налоги 2) «Зелёные» тарифы и поддержка ВИЭ 3) Экологические стандарты и законы 4) Выполнение Парижских соглашений

Источник: авторская разработка.

печивают общественное признание и легитимизацию энергетической трансформации.

Устойчивое развитие окружающей среды достигается посредством институциональных и политических преобразований. Именно изменения формальных правил – норм, касающихся выбросов углекислого газа, «зеленые» тарифы, экологические стандарты, законодательство в области возобновляемых источников энергии и обращения с отходами, а также выполнение международных обязательств (Парижское соглашение), создают нормативную базу, способствующую декарбонизации и снижению нагрузки на экосистемы.

Анализ полученных результатов

Предлагаемая интегрированная концептуальная модель отличается своей научной новизной, поскольку впервые чётко выявляет системные связи между тремя ключевыми категориями: постановка целей (устойчивое энергетическое развитие), диагностика (энергетическая трилемма) и механизм реализации (энергетическая трансформация).

В отличие от существующих фрагментарных подходов, рассматривающих эти концепции изолированно

(Iddrisu and Bhattacharyya, 2015; Heffron and McCauley, 2014; Ferdous and Barman, 2025), разработанная модель демонстрирует их логическое единство и взаимное влияние.

Сопоставление с известными данными подтверждает адекватность модели. Так, выделенные в таблице 1 соответствия между компонентами устойчивости и типами трансформации согласуются с выводами А. Черпа с соавторами (Cherp et al., 2018) о необходимости интеграции технологических, социальных и политических перспектив при анализе энергетических переходов. Обоснование роли трилеммы как операционализирующего звена развивает идеи Р. Хеффрона и др. (Heffron, McCauley and Sovacool, 2015) о необходимости измеримых индикаторов для разрешения конфликтов в энергетической политике.

Вместе с тем, модель имеет определённые ограничения. Во-первых, она носит концептуальный характер и требует эмпирической верификации на страновых данных, в том числе для Республики Беларусь. Во-вторых, при практическом применении индекса трилеммы сохраняются проблемы, связанные с доступностью и сопоставимостью статистической информации, на что указывают разработчики методологии (Heffron and McCauley, 2014). В-третьих, весовые коэффициенты при агрегировании субиндексов неизбежно содержат элемент субъективности, что может влиять на итоговые оценки.

Названные ограничения не отменяют того, что рассмотренная модель задаёт направление для дальнейшей исследовательской работы. Её ценность – в возможности перейти от разрозненного описания отдельных элементов энергетической динамики к более целостному анализу. Так, с её помощью можно оценить, какой вклад вносят возобновляемые источники энергии в параметры энергетической безопасности, социальной справедливости и экологической устойчивости применительно к национальной экономике.

Выводы

Устойчивое энергетическое развитие, энергетическая трилемма и энергетический переход – эти три понятия не существуют изолированно друг от друга. Вместе они образуют взаимосвязанную систему, через которую удобно описывать трансформацию энергетики в контексте глобальных целей устойчивого развития. Если устойчивое энергетическое развитие задаёт желаемую траекторию (своего рода вектор движения), то трилемма выступает инструментом, позволяющим замерить текущее состояние и выявить возникающие диспропорции. Энергетический переход, в свою очередь, – это процесс, через который задуманные изменения реализуются на практике.

В основе внутренней структуры устойчивого энергетического развития лежат три измерения – экономическая эффективность, социальная значимость и экологическая ответственность. Между ними нередко возникают противоречия, что требует поиска сбалансированных решений и разработки специальных измерительных инструментов. Энергетическая трилемма как раз фиксирует эти противоречия (между безопасностью, справедливостью и экологической устойчивостью) и переводит абстрактные категории в плоскость конкретных показателей, пригодных для диагностики.

Важно подчеркнуть, что энергетический переход носит комплексный характер. Он не сводится к простой замене технологий – изменения охватывают также социокультурную и институционально-политическую сферы. Многоуровневая перспектива (ниши – режимы – ландшафты) позволяет объяснить, почему подобные процессы растянуты во времени, развиваются нелинейно и требуют синхронизации инноваций в технологической и институциональной областях.

Предложенная в рамках исследования схема взаимосвязей (рисунок 1, таблица 1) даёт возможность выстроить сквозную логику: от целеполагания через диагностику к механизмам реализации и конкретным инструментам. Такой подход может служить теоретической базой для изучения того, как отдельные направления энергетической политики, например, развитие возобновляемой энергетики, влияют на достижение целей устойчивого развития.

Дальнейшую работу предполагается выстроить вокруг операционализации разработанной модели применительно к Республике Беларусь. Это означает, с одной стороны, адаптацию методики расчёта индекса энергетической трилеммы с учётом доступности статистических данных и национальной специфики, а с другой – количественную оценку вклада возобновляемых источников энергии в параметры энергетической безопасности, справедливости и экологической устойчивости.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Еремин, В.В. (2023). Четвертый энергетический переход – барьеры и пути преодоления. *Экономика. Налоги. Право*, vol. 16, № 3, С. 35–45.

Зорина, Т.Г. (2015). Устойчивое развитие энергетики: сущность и методические подходы к оценке. *Современные технологии управления*, Т. 1, № 49, С. 26–31.

Зорина, Т.Г. (2022). Влияние экономических, технологических, социальных и экологических факторов на развитие энергетики в Республике Беларусь. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*, Т. 3, С. 56–64.

Кочинян, Н.С. (2025). Зелёная экономика: эконометрический анализ в контексте энергетической безопасности и целей устойчивого развития. *Сборник научных статей РЭУ*, Т. 2, № 13. DOI: 10.61546/25792679-2025.2.13-prue-08.

Макаров, А.А. и Митрова, Т.А. (ред.) (2019). *«Прогноз развития энергетики мира и России 2019»*, [Online], URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019-02_Rus.pdf (дата обращения: 15.02.2026).

Матюшенко, А.Д. (2025). Энергетический переход: понятие, историческое становление, опыт использования в странах – членах ЕАЭС и перспективы его развития. *Устойчивое развитие энергетики Республики Беларусь: состояние и перспективы : сборник докладов III Международной научной конференции, Минск, 01–04 октября 2024 года*. Минск: Беларуская навука, С. 305–321.

Carmon, O., Teschner, N., Zemah-Shamir, S. and Parag, Y. (2025). Evaluating energy security in decentralized systems: Review and new index. *Energy Strategy Reviews*, vol. 60, 101754. DOI: 10.1016/j.esr.2025.101754.

Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E. and Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research & Social Science*, vol. 37, pp. 175–190. DOI: 10.1016/j.erss.2017.09.015.

Ferdous, Z. and Barman, S.C. (2025). A Systematic Review of Sustainable Renewable Energy Applications, Procedures, Challenges, and Limitations. *Research Square*, preprint (Version 1). DOI: 10.21203/rs.3.rs-5740831/v1.

Fressoz, J.-B. (2014). Pour une histoire désorientée de l'énergie. *25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement. L'économie verte en question*, pp. 1–12. [Online], URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00956441 (Accessed: 15.02.2026).

Gari, S.R., Newton, A. and Icely, J.D. (2015). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management*, vol. 103, pp. 63–77. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013.

Heffron, R.J. and McCauley, D. (2014). Achieving sustainable supply chains through energy justice. *Applied Energy*, vol. 123, pp. 435–437. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.12.034.

Heffron, R.J., McCauley, D. and Sovacool, B.K. (2015). Resolving society's energy trilemma through the Energy Justice Metric. *Energy Policy*, vol. 87, pp. 168–176. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.033.

Iddrisu, I. and Bhattacharyya, S.C. (2015). Sustainable Energy Development Index: A Multi-Dimensional Indicator for Measuring Sustainable Energy Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, pp. 513–530. DOI: 10.1016/j.rser.2015.05.032.

Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, vol. 5, no. 1, 1653531. DOI: 10.1080/23311886.2019.1653531.

Munasinghe, M. (2009). Energy-sector applications. *In Sustainable Development in Practice: Sustainomics Methodology and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 313–354.

O'Connor, P.A. and Cleveland, C.J. (2014). U.S. Energy Transitions 1780–2010. *Energies*, vol. 7, no. 12, pp. 7955–7993. DOI: 10.3390/en7127955.

Shirazi, M. (2025). Dynamic policy pathfinding for balanced growth of energy trilemma: Evidence from the world's large energy-consuming economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 214, 115493. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115493.

Smil, V. (2016). *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. 2nd ed. Santa Barbara: Praeger, USA.

Sovacool, B.K. and Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5343–5355. DOI: 10.1016/j.energy.2011.06.043.

Verbong, G. and Geels, F.W. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960–2004). *Energy Policy*, vol. 35, no. 2, pp. 1025–1037. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.02.010.

REFERENCES

Eremin, V.V. (2023). The fourth energy transition: barriers and ways to overcome them [Chetvertyj energeticheskij perekhod – bar'ery i puti preodoleniya]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo = Economics. Taxes. Law*, vol. 16, no. 3, pp. 35–45 (In Russian).

Zorina, T.G. (2015). Sustainable development of the energy sector: essence and methodological approaches to assessment [Ustojchivoe razvitie energetiki: sushchnost' i metodicheskie podhody k ocenke]. *Sovremennye tekhnologii upravleniya = Modern Management Technologies*, vol. 1, no. 49, pp. 26–31 (In Russian).

Zorina, T.G. (2022). The influence of economic, technological, social and environmental factors on the development of the energy sector in the Republic of Belarus [Vliyanie ekonomicheskih, tekhnologicheskih, social'nyh i ekologicheskih faktorov na razvitie energetiki v Respublike Belarus']. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya = Journal of the Belarusian State University. Ecology*, vol. 3, pp. 56–64 (In Russian).

Kochinyan, N.S. (2025). Green economy: econometric analysis in the context of energy security and sustainable development goals [Zelyonaya ekonomika: ekonometricheskiy analiz v kontekste energeticheskoy bezopasnosti i tseley ustoychivogo razvitiya]. *Sbornik nauchnykh statey REU = Collection of Scientific Articles of PRUE*, vol. 2, no. 13. DOI:10.61546/25792679-2025.2.13-prue-08 (In Russian).

Makarov, A.A. and Mitrova, T.A. (eds.) (2019). *Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii 2019* [Forecast for the Development of the Global and Russian Energy Sectors 2019], [Online], URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019-02_Rus.pdf (Accessed: 15.02.2026) (In Russian).

Matsiushenka, A.D. (2025). The energy transition: concept, historical development, experience of implementation in EAEU member states and prospects for its development [Energeticheskij perekhod: ponyatie, istoricheskoe stanovlenie, opyt ispol'zovaniya v stranah – chlenah EAES i perspektivy ego razvitiya]. *Cbornik dokladov III Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Minsk, 01–04 oktyabrya 2024 goda = Sustainable Development of the Energy Sector in the Republic of Belarus: Current State and Prospects: Proceedings of the 3rd International Scientific Conference, Minsk, October 1–4, 2024*. Minsk: Belaruskaya navuka, pp. 305–321 (In Russian).

Carmon, O., Teschner, N., Zemah-Shamir, S. and Parag, Y. (2025). Evaluating energy security in decentralized systems: Review and new index. *Energy Strategy Review*s, vol. 60, 101754. DOI: 10.1016/j.esr.2025.101754.

Cherp, A., Vinichenko, V., Jewell, J., Brutschin, E. and Sovacool, B. (2018). Integrating techno-economic, socio-technical and political perspectives on national energy transitions: A meta-theoretical framework. *Energy Research & Social Science*, vol. 37, pp. 175-190. DOI: 10.1016/j.erss.2017.09.015.

Ferdous, Z. and Barman, S.C. (2025). A systematic review of sustainable renewable energy applications, procedures, challenges, and limitations. *Research Square*, preprint (Version 1). DOI: 10.21203/rs.3.rs-5740831/v1.

Fressoz, J.-B. (2014). Pour une histoire désorientée de l'énergie. *25èmes Journées Scientifiques de l'Environnement. L'économie verte en question*, pp. 1–12. [Online], URL: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00956441 (Accessed: 15.02.2026) (In French).

Gari, S.R., Newton, A. and Icely, J.D. (2015). A review of the application and evolution of the DPSIR framework with an emphasis on coastal social-ecological systems. *Ocean & Coastal Management*, vol. 103, pp. 63–77. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2014.11.013.

Heffron, R.J. and McCauley, D. (2014). Achieving sustainable supply chains through energy justice. *Applied Energy*, vol. 123, pp. 435-437. DOI: 10.1016/j.apenergy.2013.12.034.

Heffron, R.J., McCauley, D. and Sovacool, B.K. (2015). Resolving society's energy trilemma through the energy justice metric. *Energy Policy*, vol. 87, pp. 168–176. DOI: 10.1016/j.enpol.2015.08.033.

Iddrisu, I. and Bhattacharyya, S.C. (2015). Sustainable energy development index: a multi-dimensional indicator for measuring sustainable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 50, pp. 513–530. DOI: 10.1016/j.rser.2015.05.032.

Mensah, J. (2019). Sustainable development: Meaning, history, principles, pillars, and implications for human action: Literature review. *Cogent Social Sciences*, vol. 5, no. 1, 1653531. DOI: 10.1080/23311886.2019.1653531.

Munasinghe, M. (2009). Energy-sector applications. *In Sustainable Development in Practice: Sustainomics Methodology and Applications*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 313–354.

O'Connor, P.A. and Cleveland, C.J. (2014). U.S. Energy Transitions 1780–2010. *Energies*, vol. 7, no. 12, pp. 7955–7993. DOI: 10.3390/en7127955.

Shirazi, M. (2025). Dynamic policy pathfinding for balanced growth of energy trilemma: Evidence from the world's large energy-consuming economies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 214, 115493. DOI: 10.1016/j.rser.2025.115493.

Smil, V. (2016). *Energy transitions: global and national perspectives*. 2nd ed. Santa Barbara: Praeger, USA.

Sovacool, B.K. and Mukherjee, I. (2011). Conceptualizing and measuring energy security: A synthesized approach. *Energy*, vol. 36, no. 8, pp. 5343–5355. DOI: 10.1016/j.energy.2011.06.043.

Verbong, G. and Geels, F.W. (2007). The ongoing energy transition: Lessons from a socio-technical, multi-level analysis of the Dutch electricity system (1960–2004). *Energy Policy*, vol. 35, no. 2, pp. 1025–1037. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.02.010.

Информация об авторах | Information about the authors

Матюшенко Ангелина Дмитриевна
Аспирант кафедры аналитической экономики и эконометрики экономического факультета Белорусского государственного университета, Республика Беларусь.
E-mail: admatyushenko@gmail.com

Зорина Татьяна Геннадьевна
Доктор экономических наук, профессор, заведующий лабораторией «Устойчивое энергетическое развитие» Института энергетики Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь.
E-mail: tanyazorina@ipe.by

Angelina D. Matsiushenka
Graduate Student at the Department of Analytical Economics and Econometrics, Faculty of Economics, Belarusian State University, Republic of Belarus.
E-mail: admatyushenko@gmail.com

Tatsiana G. Zoryna
Doctor of Science (in Economics), Professor, Head of the Laboratory "Sustainable Energy Development", Institute of Power Engineering, National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus.
E-mail: tanyazorina@ipe.by

УДК 005.94:331.108 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-79-94

Концептуальный подход к управлению знаниями в современных организациях

Е. В. Ванкевич, *Витебский государственный технологический университет,*
А. А. Иванова *Республика Беларусь*

Аннотация. Актуальность темы исследования обусловлена повышением значимости знаний в инновационной экономике, цифровизацией и усилением конкуренции. Целью данной статьи является развитие концептуальных подходов к управлению знаниями на микроуровне в современных условиях и разработка направлений их использования в национальном менеджменте. Рассмотрены концептуальные подходы к управлению знаниями на микроуровне. Сформирована интегрированная модель управления знаниями, включающая процессы формирования, накопления, передачи, развития, использования и сохранения знаний во взаимосвязи с внутренней и внешней средой организации. Уточнены функции управления знаниями, показана роль управления знаниями в организациях, состоящая в стратегическом развитии, повышении инновационной активности, производительности труда и конкурентоспособности организации. На основе имеющихся данных Национального статистического комитета Республики Беларусь проведен анализ взаимосвязи показателей профессионального обучения работников и эффективности деятельности организаций. На основе проведенного корреляционно-регрессионного анализа доказано отсутствие статистически значимой связи между масштабами профессионального обучения работников и показателями экономической эффективности промышленных предприятий, что свидетельствует о преимущественно формальном характере существующей системы внутрифирменного обучения и актуализирует необходимость перехода к качественно новым механизмам стратегического управления знаниями. Изучение отдельных успешных практик управления знаниями в организациях Республики Беларусь показало, что существующие инструменты применяются фрагментарно и не интегрированы в систему стратегического управления. Поэтому внедрение концепции управления знаниями в деятельность отечественных предприятий должно стать важной задачей их кадровых служб. Это обеспечит эффективное развитие предприятий и повышение их конкурентоспособности.

Ключевые слова: управление знаниями, человеческие ресурсы, обучение, модель управления знаниями, инновационная экономика, конкурентоспособность.

Информация о статье: поступила 10 июня 2026 года.

Conceptual approach to knowledge management in modern organizations

Alena V. Vankevich, *Vitebsk State Technological University,*
Anna A. Ivanova *Republic of Belarus*

Abstract. The article discusses conceptual approaches to knowledge management at the micro level. An integrated knowledge management model has been developed that includes the processes of knowledge generation, accumulation, transfer, development, use, and preservation in relation to the internal and external environment of the organization. The article clarifies the functions of knowledge management and proposes a sequence of stages for their implementation at the micro level. It also highlights the role of knowledge management in organizations, which encompasses strategic development, increased innovation activity, productivity, and competitiveness. Drawing on available data from the National Statistical Committee of the Republic of Belarus, the article analyzes the relationship between indicators of professional training and the performance of organizations. On the basis of the correlation and regression analysis conducted, it is proven that there is no statistically significant relationship between the scale of professional training for employees and the economic efficiency indicators of industrial enterprises, which indicates the predominantly formal nature of the in-house training system currently in place and highlights the need for a transition to qualitatively new mechanisms for strategic knowledge management. The study of selected successful knowledge management practices in organizations in the Republic of Belarus has shown that existing tools are applied in a fragmented manner and are not integrated into the

strategic management system. Therefore, the implementation of the knowledge management concept in the activities of domestic enterprises should be a priority for their human resources departments. Such implementation will ensure the effective development of enterprises and increase their competitiveness.
Keywords: knowledge management, human resources, training, organization, innovative economy, competitiveness.
Article info: received June 10, 2026.

Введение

В условиях формирования инновационной экономики знания становятся ключевым стратегическим ресурсом, определяющим конкурентоспособность организаций, отраслей и национальных экономик в целом. В современных теориях управления акцент смещается с традиционных факторов производства – труда, капитала и природных ресурсов – на нематериальные активы, прежде всего знания, компетенции и интеллектуальный потенциал работников. В этой связи управление знаниями рассматривается не как вспомогательная функция, а как системообразующий элемент современного менеджмента, обеспечивающий устойчивое развитие организаций в условиях высокой неопределенности и технологических изменений. Однако концептуальное осмысление данных изменений не всегда сопровождается практическими действиями в организациях, т. к. нужны конкретные инструментальные механизмы управления знаниями на микроуровне, адаптированные к специфике выполнения управленческих кадровых технологий в отечественном менеджменте.

Целью данной статьи является развитие концептуальных подходов к управлению знаниями на микроуровне в современных условиях и разработка направлений их использования в национальном менеджменте.

Достижение поставленной цели предполагает решение следующих задач: исследовать теоретические подходы к управлению знаниями и определить основные направления их развития, разработать интегрированную модель управления знаниями на микроуровне, систематизировать функции управления знаниями в современной организации, провести анализ состояния профессионального обучения работников промышленности Республики Беларусь и выявить взаимосвязь с экономическими результатами, определить направления совершенствования управления знаниями в организациях Республики Беларусь.

Методы и средства исследования

Реализация поставленных задач достигнута на основе изучения научных отечественных и зарубежных источников, посвящённых теоретическим основам управления знаниями, концепциям и методам управления знаниями. Методология исследования основывается на системном подходе. В исследовании использованы методы анализа и синтеза, экосистемный подход, метод дескриптивной статистики и корреляционно-регрессионного анализа. Эмпирической базой исследования являются официальные статистические материалы Национального статистического комитета Республики Беларусь, характеризующие профессиональное обучение работников по образовательным программам дополнительного образования взрослых, показатели затрат организаций на профессиональное обучение, данные выборочного обследования домашних хозяйств по проблемам занятости населения, а также показатели эффективности промышленности Республики Беларусь.

Результаты исследования

Проведённый анализ позволяет сделать вывод о том, что в современных условиях знания и компетенции работников становятся ключевым фактором устойчивого развития организаций, а системы управления знаниями – необходимым элементом обеспечения их конкурентоспособности. Современные глобальные тенденции развития экономики, рынка труда и технологий обусловливают возрастающую значимость процессов накопления, передачи, обновления и практического использования знаний в организациях.

Согласно данным Всемирного экономического форума, 86 % работодателей ожидают, что к 2030 г. наибольшее влияние на трансформацию организаций окажут технологии искусственного интеллекта и обработки информации. При этом исследования показывают, что ключевым фактором эффективности внедрения новых технологий выступает не столько сама технологическая база, сколько способность организаций обеспечивать развитие компетенций работников, формировать механизмы организационного обучения и эффективно интегрировать знания в бизнес-процессы.

Особую значимость приобретает развитие систем профессионального обучения и повышения квалифика-

ции персонала. По данным исследования Future of Jobs Report 2025, большинство работодателей рассматривают переподготовку и повышение квалификации работников как приоритетное направление кадровой политики в условиях структурной трансформации рынка труда[1]. Это обусловлено тем, что происходящие изменения сопровождаются масштабным перераспределением занятости и трансформацией требований к профессиональным компетенциям работников.

По оценкам Всемирного экономического форума, к 2030 г. под влиянием глобальных макроэкономических и технологических тенденций будет создано около 170 млн новых рабочих мест и одновременно вытеснено 92 млн существующих рабочих мест, что соответствует трансформации 22 % мирового рынка труда. В результате ожидается чистый прирост занятости на уровне 78 млн рабочих мест. Данные изменения свидетельствуют о том, что конкурентоспособность организаций всё в большей степени определяется способностью своевременно адаптировать знания и компетенции работников к новым условиям хозяйствования.

Анализ структуры наиболее быстрорастущих профессий показывает, что наибольший спрос формируется на специалистов, деятельность которых непосредственно связана с обработкой, использованием и развитием знаний. В числе наиболее востребованных профессий к 2030 г. названы специалисты по большим данным, аналитики данных, специалисты в области искусственного интеллекта и машинного обучения, разработчики программного обеспечения и специалисты по управлению информацией. В то же время наблюдается сокращение спроса на профессии, связанные преимущественно с выполнением рутинных и стандартизированных операций. Это подтверждает возрастание роли человеческих ресурсов и организационных знаний как стратегического ресурса развития.

Мировые исследования также свидетельствуют о существенном влиянии процессов обучения на эффективность деятельности организаций. Согласно данным Coursera, в 2022–2024 гг. наблюдался стремительный рост спроса на обучение новым компетенциям как со стороны работников, так и со стороны организаций. При этом индивидуальные пользователи преимущественно ориентированы на получение фундаментальных знаний и развитие универсальных навыков, тогда как организации делают акцент на практико-ориентированном обучении, обеспечивающем повышение производительности труда и эффективности бизнес-процессов.

Существенное влияние на развитие систем управления знаниями оказывают и демографические изменения. По данным Всемирного экономического форума, 40 % работодателей связывают трансформацию организаций со старением и сокращением численности трудоспособного населения. В этих условиях особую актуальность приобретают процессы сохранения организационных знаний, развития наставничества и предотвращения утраты критически важных компетенций вследствие выбытия работников старших возрастных групп.

Более 60 % организаций в странах с сокращающейся рабочей силой рассматривают переподготовку и развитие имеющегося персонала как ключевую стратегию кадрового обеспечения.

Современные теории управления все в большей степени отходят от индустриальной парадигмы, в рамках которой основной акцент делался на материальные ресурсы, и переходят к постиндустриальной модели, где решающую роль играют нематериальные активы – человеческие ресурсы, организационные знания, компетенции и инновационный потенциал персонала. В данной связи управление знаниями становится системообразующим элементом менеджмента, интегрированным в стратегию развития организаций и государственную политику в сфере образования и подготовки кадров.

Современная организация – система, объединяющая материальные и человеческие ресурсы для достижения целей в условиях динамично меняющихся условий, характеризующаяся адаптивностью, гибкостью, динамичностью, ориентацией на знания и развитие персонала, где ключевую роль играют лидерство, коммуникации, мотивация и осознанный подход к работе. В современной экономике знания – это главный актив, а сама организация – это оболочка для их генерации и обмена (Бодрунов и Глазьев, 2021).

Знание – это совокупность информации об объекте, его внутренней структуре и внешней среде, выступающей в качестве системы моделей, которые достоверно и с определённой точностью позволяют принимать эффективные решения и добиваться требуемых результатов в практической деятельности (Левизов, Низаева и

[1] World Economic Forum. The Future of Jobs Report (2025). Geneva : World Economic Forum.

Великанова, 2007). Значимость управления знаниями с каждым годом возрастает, отражая объективные требования развития наукоемкого производства, информатизации общества и повышения роли человеческого потенциала, доказав, что не может быть отраслей, производств и организаций, которые не используют интеллектуальный капитал в изготовлении продукции.

Термин «управление знаниями» был введен Карлом Вигом – американским ученым и консультантом по управлению и впервые использован в 1986 г. в его выступлении на конференции в Швейцарии, проводившейся Международной организацией труда под эгидой ООН (Харитонова и Бунина, 2025). Управление знаниями понималось как «систематическое формирование, обновление и применение знаний с целью максимизации эффективности предприятий» (Горбенкова, 2024). В таком понимании управление знаниями стало предметом разносторонних исследований и обсуждений, новой функцией управления организацией и отдельным видом управленческой деятельности.

Теоретическое осмысление роли знаний в управлении базируется на ряде взаимодополняющих научных подходов. Одним из фундаментальных является теория человеческого капитала, разработанная Т. Шульцем и Г. Беккером в 1960-х гг. [Масюк, Голованова и Герасимова, 2023]. В рамках данной теории знания, навыки, мотивация и компетенции работников рассматриваются как форма капитала, требующая целенаправленных инвестиций и приносящая экономическую отдачу в виде роста производительности труда, инновационной активности и качества управления.

Другим значимым направлением теоретического осмысления управления знаниями на уровне организации является ресурсно-ориентированный подход, заложенный в работах Э. Пенроуз, Б. Вернерфельта, Д. Барни, основное развитие которого прошло в 1980–1990-х гг. (Катькало, 2002). В рамках данного подхода знания рассматриваются как внутренний, а не внешний стратегический ресурс, формирующий устойчивые конкурентные преимущества организации.

Теория самообучающейся организации, автором которой является П. Сенге, сформировалась на стыке нескольких направлений в 1980–1990 гг. (Донцов, Рыбальченко и Ягодник, 2021). Данная теория утверждает, что объединение компонентных технологий (мастерство в совершенствовании личности, интеллектуальные модели, построение общего видения, групповое обучение, системное мышление) позволяет создать самообучающуюся организацию. Целью управления организационными знаниями в самообучающейся организации является сочетание индивидуального развития каждого работника с реализацией миссии организации.

Логическим развитием данного направления является концепция обучения в течение всей жизни – это образовательная парадигма непрерывного, добровольного и мотивированного поиска знаний и навыков на протяжении всей жизни человека (Б. Йексли, Э. Линдеман, Э. Фор). Истоки данной теории заложены в работах ЮНЕСКО и ОЭСР второй половины XX века, в которых образование рассматривалось не как завершенный этап социализации, а как непрерывный процесс, сопровождающий человека на протяжении всей жизни (Делор, 1996).

Данные концепции получили дальнейшее развитие в рамках экосистемного подхода к управлению знаниями, сформировавшегося в 2000–2020 гг., как ответ на развитие бизнес-экосистем (Г. Чесбро, И. Кацена, Р. Аднера, М. Мура) (Chesbrough, 2003; Adner, 2012; Moore, 1996), в соответствии с которым процессы создания, распространения и использования знаний выходят за пределы отдельной организации и формируются в рамках взаимодействия образовательных учреждений, научных организаций, государственных структур, бизнеса и рынка труда. Такой подход позволяет рассматривать управление знаниями как элемент более широкой социально-экономической системы, эффективность которой определяется согласованностью интересов и механизмов взаимодействия всех участников инновационного процесса.

Концепция адаптивного капитала представляет собой способность человеческих ресурсов меняться, развиваться и подстраиваться в ответ на внутренние и внешние факторы, неопределённости и кризисы. Концепция формировалась в 2000–2010 гг. как эволюционный ответ на ограничения экономического подхода и является значимой для управления в эпоху цифровизации (Голованова и Масюк, 2024). Понятие адаптивных возможностей человеческих ресурсов, обозначающее способность отвечать на возникающие изменения и предпринимать определенные действия для адаптации в процессе этих изменений, является жизненно важным, так как оно описывает степень способности уменьшать свою уязвимость через обучение и применение новых экономических, социальных и политических подходов

к сокращению рисков. Сущность адаптивного капитала заключается в динамическом ресурсе личности, который позволяет не просто накапливать знания, а мгновенно перестраивать их для решения задач в условиях неопределённости.

Знания имеют решающее значение для развития организаций, деятельность которых во все большей степени зависит от накопления и анализа информации, обучения персонала и внедрения инноваций. Это обусловлено рядом тенденций:

– динамика рыночной среды и постоянная трансформация потребительских предпочтений требуют от организации способности оперативно адаптироваться к изменениям и формировать механизмы непрерывного организационного обучения;

– усиление глобальной конкуренции предъявляет повышенные требования к производительности, гибкости и инновационной активности организаций, что является возможными только при эффективном использовании интеллектуального капитала и накопленных знаний;

– развитие цифровых технологий и информационных систем существенно расширило возможности взаимодействия с узкоспециализированными сегментами рынка, что привело к росту требований к персонализации. Это требует от организаций способности быстро генерировать, адаптировать и применять знания.

Организации становятся заинтересованными в управлении знаниями, т. к. они должны сознательно осуществлять инвестиции в создание, сохранность и использование того, что стало важнейшим ресурсом. П. Друкер ввел термин «работник по знаниям» и охарактеризовал знания как «единственное устойчивое конкурентное преимущество» (Кудрявцева, 2014).

Систематизации рассмотренных концепций позволяет определить знания как совокупность профессионального опыта, умений, навыков человеческих ресурсов организации, выступающая ключевым нематериальным активом, которая используется в деятельности организации и в современных условиях формирует её конкурентоспособность. Управление знаниями – это систематический, научно обоснованный процесс создания, накопления, передачи и использования знаний человеческих ресурсов организации в целях её развития. Задачами управления знаниями выступают:

– обеспечение повышения производительности труда и эффективности деятельности организации;

– обеспечение инновационного развития для повышения конкурентоспособности организации.

Знания, ориентированные на инновации, имеют большую перспективную стоимость, чем знания, ориентированные только на эффективность (Молодчик М. А., Эсаулова и Молодчик А. В., 2021). Знания являются «незримым» состоянием, способным приносить и приносящим организациям реальные дивиденды.

В современных условиях важное значение приобретает системное представление процессов управления знаниями в организации. Современные авторы рассматривают управление знаниями как интегрированную систему, объединяющую ресурсы, процессы и социальные взаимодействия. У. Эдгар, К. Олбайт и А. Крымская (Edgar, 2024) трактуют знания одновременно как стратегический ресурс и социальный феномен, акцентируя внимание на многоуровневой структуре управления знаниями. П. Вольф, Э. Мадсен и Ж. Степпе (Wolf, 2025) подчёркивают значимость организационной культуры обмена знаниями, цифровых технологий и процессов трансформации знаний как ключевых факторов эффективности. Современные подходы к пониманию управления знаниями состоят в определении его как непрерывного процесса их формирования, структурирования, распространения и использования в целях повышения эффективности и инновационного потенциала (Брагина и Андреева, 2014).

Учитывая рассмотренные теории, сложившиеся взаимосвязи между ключевыми элементами формирования, распространения и использования знаний в организации правомерно отразить в виде модели (рисунок 1).

На данной схеме изображена интегрированная модель управления знаниями, отражающая взаимодействие внешней и внутренней среды организации. Ключевую роль играет работник как основной носитель, потребитель и источник знаний. В центре модели находится совокупность знаний, включающая образование, навыки, компетенции, квалификацию и знание организационной культуры. Эти элементы формируют интеллектуальный потенциал сотрудника и определяют его способность эффективно выполнять профессиональные задачи и адаптироваться к изменениям (адаптивный капитал).

Формирование знаний начинается за пределами организации – в учреждениях образования, которые обеспечивают базовую теоретическую подготовку, а также у провайдеров образовательных услуг, предлагающих



Рисунок 1 – Интегрированная модель управления знаниями на микроуровне
Figure 1 – Integrated knowledge management model at the micro level

Источник: составлено авторами.

программы дополнительного обучения, повышения квалификации и развития специализированных навыков. Полученные знания поступают к работнику, который интегрирует их с практическим опытом, накапливаемым в процессе профессиональной деятельности. Таким образом, знания не являются статичным ресурсом, они постоянно трансформируются и развиваются, являясь управляемой системой.

Организация, в свою очередь, выступает как управляющая система, направляющая процессы формирования, накопления, распространения и использования знаний. Через кадровую службу и соответствующие управленческие механизмы она определяет потребности в компетенциях, организует обучение персонала, создает условия для обмена знаниями и формирует корпоративную среду, способствующую их эффективному использованию. Важным аспектом является также институционализация знаний – их закрепление в виде регламентов, стандартов, баз данных и корпоративных практик, что позволяет минимизировать потери знаний и обеспечивать их доступность для всех сотрудников.

Взаимодействие между элементами модели носит двусторонний характер. С одной стороны, работник получает знания из внешних и внутренних источников и применяет их в деятельности организации. С другой стороны, сама организация формирует запрос на определённые компетенции, тем самым оказывая влияние на содержание образовательных программ и деятельность провайдеров обучения. Внутри организации происходит активный обмен знаниями между сотрудниками, что способствует их тиражированию и созданию нового знания на основе коллективного опыта.

Существенное влияние на функционирование модели оказывает внешняя среда, которая представлена двумя уровнями. Среда прямого воздействия включает конкурентов, поставщиков, потребителей и нормативно-правовое поле, задающие конкретные требования к уровню и содержанию знаний. Среда косвенного воздействия охватывает более широкие факторы, такие как политическая ситуация, макроэкономические и социально-демографические условия и технологический прогресс, которые формируют долгосрочные тренды и

определяют направление развития компетенций.

Модель демонстрирует непрерывный цикл управления знаниями на микроуровне, в рамках которого осуществляется их генерация, передача, адаптация и применение. Она подчеркивает, что знания выступают стратегическим ресурсом организации, а эффективное управление ими становится ключевым фактором обеспечения устойчивого развития, инновационной активности и конкурентоспособности в условиях динамично изменяющейся внешней среды.

Таким образом, представленная схема демонстрирует циклический и непрерывный характер управления знаниями в организации, а также подчеркивает значимость как внутренних механизмов, так и внешних источников в формировании устойчивых конкурентных преимуществ организации.

Технология управления знаниями на микроуровне представлена как совокупность его функций (таблица 1).

Таблица 1 – Функции управления знаниями в организации
Table 1 – Knowledge management functions in an organization

Функция	Характеристика	Методы и инструменты
Диагностика	Выявление существующих знаний, оценка их полноты, актуальности и доступности; определение критически значимых компетенций и пробелов в знаниях	Аудит знаний, карта знаний, матрицы компетенций, интервью, опросы, аттестация
Приобретение знаний	Использование уже имеющихся знаний и их адаптация для целей организации; получение новых знаний через научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР), обучение персонала, адаптация знаний	Разработка регламентов, карт процессов, баз данных
Передача, распространение и обмен знаниями	Использование новых информационных и телекоммуникационных технологий, соответствующее нормативно-правовое регулирование и обеспечение доступа к информационным ресурсам. Организация эффективных каналов передачи знаний внутри организации: базы знаний, сообщества практик, совещания, тренинги	Корпоративные порталы, электронные библиотеки, облачные хранилища, системы документооборота
Применение знаний	Использование знаний в бизнес-процессах, управленческих решениях, инновационной деятельности; внедрение лучших практик и повышение эффективности работы	Информационные управляющие системы (ERP), автоматизированные системы управления техническими процессами (АСУ ТП)
Развитие знаний	Формирование условий для непрерывного обучения сотрудников; развитие корпоративного обучения, наставничества, программ повышения квалификации и самообучения	Программы повышения квалификации, обучение персонала, бенчмаркинг, взаимодействие с партнерами, анализ рынка
Хранение и защита знаний	Создание корпоративных баз данных, регламентов, систем управления документами; обеспечение информационной безопасности, защита интеллектуальной собственности и предотвращение утечки знаний	Электронные архивы, DLP-системы, управление правами доступа, соглашение о конфиденциальности
Оценка эффективности использования знаний, обратная связь	Эффективное управление знаниями способствует снижению транзакционных издержек, ускорению принятия решений, повышению инновационной активности, формированию устойчивых конкурентных преимуществ	R&D, мозговые штурмы, проектная работа. Разработка новых продуктов, система оценки эффективности, аналитика знаний, ROI знаний

Источник: составлено авторами.

Функции управления знаниями в организации представляют собой непрерывный цикл, состоящий из последовательных, пересекающихся и взаимосвязанных процессов, направленных на создание, сбор, систематизацию, распространение и использование знаний для повышения эффективности организации.

Такой подход к управлению знаниями в организации формирует новую функцию кадровой службы, в задачи которой входит выявление и распространение имеющейся информации и опыта, создание предпосылок для распространения и передачи знаний. Использование знаний и постоянное развитие профессиональных компетенций кадров обеспечивают конкурентоспособность и экономический успех организации. Именно знания становятся источником высокой производительности, инноваций и конкурентных преимуществ (рисунок 2).

Центром системы являются человеческие ресурсы организации – носители знаний. Именно работники обеспечивают преобразование информации, профессионального опыта, компетенций, навыков в прикладные знания, используемые в процессе принятия управленческих решений и производственной деятельности. Формирование и развитие человеческих ресурсов осуществляется под воздействием внешних и внутренних факторов: использование информационных технологий, окружающей среды, социально-психологического климата, уровня системы образования. Важную роль играют источники знаний, включающие внутреннее и внешнее обучение, взаимодействие с поставщиками, потребителями, образовательными учреждениями и другими субъектами. Здесь особое значение имеет диагностика потребности организации в знаниях и компетенциях, а также выбор наиболее эффективных форм обучения и передачи знаний. Следующим элементом модели выступает процесс практического применения знаний в управленческих и производственных процессах. Знания трансформируются в конкретные результаты посредством повышения качества принимаемых решений, роста производительности труда, снижения издержек и активизации инновационной деятельности. Тем самым, знания приобретают прикладную ценность и становятся важнейшим источником устойчивых конкурентных преимуществ организации. В результате управление знаниями оказывает непосредственное влияние на социально-экономическую эффективность организации, обеспечивая повышение адаптивности к изменениям внешней среды, развитие инновационного потенциала,



Рисунок 2 – Роль управления знаниями в развитии организации
Figure 2 – The role of knowledge management in organizational development

Источник: составлено авторами.

укрепление конкурентных позиций и формирование долгосрочных условий устойчивого развития.

Представленная модель позволяет сделать вывод о том, что управление знаниями представляет собой комплексную систему взаимосвязанных процессов, интегрированных в общую систему стратегического управления организацией. Основной задачей организации на стратегическом уровне является синтез стратегии управления знаниями и общей стратегии организации.

Анализ полученных результатов

Национальный статистический комитет Республики Беларусь осуществляет статистическое наблюдение отдельных показателей, характеризующих процессы профессионального обучения работников и использования трудового потенциала. Действующая система государственной статистики не содержит комплексной системы показателей, непосредственно отражающих уровень развития управления знаниями в организациях. В свою очередь, выборочное обследование домашних хозяйств по проблемам занятости населения, проводимое Национальным статистическим комитетом, позволяет оценить качественные параметры рынка труда (например, уровень соответствия квалификации выполняемой работе). Однако результаты данного обследования базируются на субъективных оценках респондентов. Данные обстоятельства усугубляются тем, что ряд показателей не детализируется в разрезе видов экономической деятельности и категорий персонала.

Для оценки влияния системы управления знаниями на экономическую эффективность промышленности Республики Беларусь проведена систематизация ключевых статистических показателей. На основе этих данных выполнен содержательный анализ, необходимый для поиска взаимосвязей между процессами обучения кадров и результатами работы промышленных предприятий. Глубина исследования ограничена периодом 2017–2024 годов в связи с ограниченной доступностью и отсутствием некоторых показателей в более раннем периоде.

Первый блок параметров, отражающий динамику и структуру профессионального обучения кадров в промышленности представлен в таблице 2.

Второй блок показателей, аккумулирующий результаты технико-экономической и инновационной деятельности промышленных предприятий отражен в таблице 3.

На основе данных показателей построена корреляционная матрица, где за x_1–x_4 принимаются индикаторы системы управления знаниями в промышленности Республики Беларусь, а за y_1–y_3 принимаются отдельные показатели эффективности их деятельности (таблица 4).

Научно-практическую ценность представляет высокая прямая корреляция между уровнем соответствия квалификации выполняемой работы молодых специалистов (x_2) и удельным весом инновационной продукции (y_3) (r = 0,785). Согласно общепринятой шкале интерпретации коэффициентов корреляции, данная зависимость характеризуется как высокая положительная связь, что характеризует устойчивую взаимосвязь между качеством использования человеческих ресурсов и инновационной активностью предприятий.

Показатели корреляционной матрицы демонстрируют, что ключевым вектором интенсификации промышленности Республики Беларусь является не просто наращивание объемов финансирования подготовки кадров, а обеспечение структурного и содержательного соответствия между системой образования и реальными квалификационными требованиями рабочих мест, что напрямую генерирует синергетический эффект в виде роста инновационной активности и динамики объемов производства.

Для количественной оценки выявленной зависимости построена линейная регрессионная модель.

В качестве зависимой переменной принят удельный вес инновационной продукции промышленности (y_3), а в качестве объясняющей переменной – удельный вес молодых работников, квалификация которых соответствует выполняемой работе (x_2). Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$Y = a + bX, \quad (1)$$

где Y – удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объёме отгруженной продукции (работ, услуг) промышленности; X – доля молодых работников, квалификация которых соответствует выполняемой работе.

По результатам расчётов получена следующая модель:

$$Y = -30{,}8 + 0{,}67X. \quad (2)$$

Таблица 2 – Индикаторы системы управления знаниями в промышленности Республики Беларусь
Table 2 – Indicators of the knowledge management system in the industry of the Republic of Belarus

№ п/п	Показатель	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Списочная численность работников, тыс. чел.	882,1	879,3	875,6	847,4	842,1	822,0	834,4	841,3
2	Профессиональное обучение работников по образовательным программам дополнительного образования взрослых, тыс. чел.	106,9	106,0	105,9	95,3	99,9	99,3	103,8	107,5
3	Удельный вес работников, прошедших профессиональное обучение по образовательным программам ДОВ, в списочной численности работников, %	12,1	12,5	12,1	11,3	11,9	12,1	12,4	12,8
4	Доля расходов на профессиональное обучение из структуры затрат организации на рабочую силу, %	-	0,2	-	0,1	-	0,2	-	0,2
5	Занятое население по занятиям на основной работе и соответствию квалификации выполняемой работе, в %:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	– соответствует квалификации,	63,3	62,4	61,6	62,0	63,3	63,3	62,9	63,7
	– ниже квалификации,	17,2	17,3	17,4	17,8	17,2	15,9	15,8	14,7
	– выше квалификации,	3,7	3,6	3,5	3,0	2,6	2,7	2,7	2,9
	– одинаковы, но не связаны	15,9	16,7	17,4	17,2	16,9	18,2	18,7	18,6
6	Соответствие квалификации выполняемой работе у лиц в возрасте до 30 лет (включительно), окончивших учреждения высшего, среднего специального и профессионально-технического, в %:	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
	– соответствует квалификации,	72,0	72,7	73,5	74,2	74,6	72,8	75,1	79,9
	– ниже квалификации,	17,0	16,1	15,1	13,3	12,9	12,9	13,1	9,8
	– выше квалификации,	1,6	1,6	1,6	0,9	1,5	0,8	0,3	0,9
	– одинаковы, но не связаны	9,4	9,6	9,9	11,8	11,0	13,4	11,5	9,5

Источник: составлено авторами на основе официальных статистических изданий Национального статистического комитета Республики Беларусь и на основе данных Информационно-аналитической системы Белстата[2,3,4].

[2] База данных Информационно-аналитической системы Национального статистического комитета Республики Беларусь (ИАС Белстата) [Электронный ресурс] : показатели статистики труда, занятости и профессионального обучения кадров за 2017–2024 гг. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Режим доступа: belstat.gov.by. – Дата доступа: 03.05.2026.

[3] Труд и занятость в Республике Беларусь : стат. сб. за 2018–2026 гг. / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь. – Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь.

[4] Занятость населения в Республике Беларусь (по материалам выборочного обследования) [Электронный ресурс] : статистические бюллетени за 2018–2025 гг. / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Режим доступа: belstat.gov.by. – Дата доступа: 03.05.2026.

Таблица 3 – Динамика отдельных показателей, характеризующих эффективность деятельности предприятий промышленности Республики Беларусь
Table 3 – Dynamics of selected indicators characterizing the efficiency of industrial enterprises in the Republic of Belarus

№ п/п	Показатель	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
1	Объём промышленного производства, млн руб. – в % к предыдущему году	94306,0 106,1	110363,9 105,7	115700,5 101,0	118407,7 99,3	155870,7 106,5	170378,0 94,6	187750,9 107,7	208253,9 105,4
2	Производительность труда в промышленности, в % к предыдущему году	107,7	106,0	101,4	102,6	107,1	95,7	107,5	106,1
3	Коэффициент оборота по приёму Коэффициент оборота по выбытию	0,2179 0,2244	0,2299 0,2398	0,2227 0,2410	0,2128 0,2356	0,2241 0,2390	0,2247 0,2417	0,2335 0,2378	0,2405 0,2347
4	Удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объёме отгруженной продукции (работ, услуг) промышленности, %	17,4	18,6	16,6	17,9	19,8	17,7	22,2	22,3

Источник: составлено авторами по данным Национального статистического комитета Республики Беларусь и на основе данных Информационно-аналитической системы Белстата.

Таблица 4 – Корреляционная матрица
Table 4 – Correlation matrix

	x_1 – удельный вес работников, прошедших профессиональное обучение по образовательным программам ДОВ, в списочной численности работников, %	x_2 – соответствие квалификации выполняемой работе у лиц в возрасте до 30 лет (включительно), окончивших учреждения высшего, среднего специального и профессионально-технического, %	x_3 – занятое население по занятиям на основной работе и соответствию квалификации выполняемой работе, %	x_4 – доля расходов на профессиональное обучение из структуры затрат организации на рабочую силу, %
y_1 – объём промышленного производства, в % к предыдущему году	0,44385599	0,270129	0,254878657	0,293151331
y_2 – производительность труда в промышленности, в % к предыдущему году	0,285409529	0,25484	0,228407708	0,152260931
y_3 – удельный вес отгруженной инновационной продукции (работ, услуг) в общем объёме отгруженной продукции (работ, услуг) промышленности, %	0,558796497	0,784821	0,547913053	0,351874714

Источник: составлено авторами.

Коэффициент детерминации составляет $R^2 \approx 0{,}62$, значит около 62 % вариации инновационной активности промышленности объясняется изменением уровня соответствия квалификации молодых специалистов требованиям рабочих мест, тогда как остальные изменения обусловлены влиянием иных факторов, включая инвестиции, технологическое развитие, состояние внешней среды и особенности отраслевой структуры промышленности.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа свидетельствуют, что удельный вес работников, прошедших профессиональное обучение по образовательным программам дополнительного образования взрослых в промышленности является достаточно автономной величиной и не коррелирует с экономическими результатами деятельности организации. Это указывает на формальный характер дополнительного образования взрослых в промышленности, недостаточность по масштабу, структуре и свидетельствует о необходимости внедрения концепции управления знаниями в организациях.

Расходы организаций на профессиональное обучение остаются крайне низкими и составляют лишь 0,1–0,2 % в структуре затрат на рабочую силу, что свидетельствует о недостаточном уровне инвестиций в развитие знаний. Это подтверждает, что во многих организациях обучение работников по-прежнему рассматривается преимущественного как обязательный элемент кадровой работы, а не как стратегический фактор повышения конкурентоспособности.

Значительная часть мероприятий по повышению квалификации связана с обязательным обучением по охране труда, промышленной безопасности, пожарной безопасности и иным видам регламентированного инструктажа. Данные формы обучения являются необходимыми с точки зрения соблюдения нормативных требований, однако в большинстве случаев не обеспечивают существенного прироста профессиональных компетенций работников и не формируют новые организационные знания. В результате формально высокие показатели охвата обучением не всегда отражают реальный уровень развития знаний в организациях.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о преобладании в промышленности в целом формального подхода к развитию управления знаниями, при котором обучение рассматривается преимущественно как инструмент выполнения нормативных требований, а не как стратегический фактор повышения конкурентоспособности. Управление знаниями носит фрагментарный характер и недостаточно интегрировано в систему стратегического управления организацией.

В процессе проведения исследования возникли институциональные ограничения при сборе эмпирических данных, характеризующих практику реализации систем управления знаниями непосредственно на микроуровне – на промышленных предприятиях Республики Беларусь. Прямой централизованный мониторинг невозможен, поскольку в соответствии с Законом Республики Беларусь от 7 мая 2021 г. № 99-З «О защите персональных данных» строго регламентируется оборот сведений о персонале граждан и субъектов хозяйствования[5]. В свою очередь, Законом Республики Беларусь от 28 ноября 2004 г. № 345-З «О государственной статистике» (ст. 21) гарантируется принцип статистической конфиденциальности, исключающий распространение и публикацию первичных статистических данных о конкретных юридических лицах без их письменного согласия[6].

Анализ деятельности отдельных крупных предприятий Республики Беларусь показывает, что наиболее высокие показатели эффективности характерны для организаций, в которых процессы развития знаний выходят за рамки обязательного обучения и включают корпоративное наставничество, внутренние системы обмена знаниями, обучение современным технологиям и развитие профессиональных компетенций работников. Это подтверждает, что именно системное управление знаниями, а не формальное увеличение количества обучающих мероприятий, оказывает наибольшее влияние на производительность труда, инновационную активность и устойчивость организаций.

Например, в рамках функций управления знаниями белорусских предприятий процессы разделены по механизмам работы с явным и скрытым интеллектуальным капиталом. На этапе диагностики крупные предприятия прибегают к кадровому аудиту и построению матриц компетенций. Функция отбора и разработки вариантов

[5] О защите персональных данных : Закон Респ. Беларусь, 7 мая 2021 г., № 99-З // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. – 13.05.2021. – 2/2819.

[6] О государственной статистике : Закон Респ. Беларусь, 28 нояб. 2004 г., № 345-З : в ред. Закона от 30.12.2022 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2026.

формирования необходимых знаний на ОАО «Камволь» реализуется систематизацией опыта в виде цифровых стандартов и инструкций. Непосредственное формирование знаний обеспечивается за счет внешней интеграции с системами образования, что подтверждают ОАО «Нафтан» и ОАО «Гродно Азот» через совместные программы повышения квалификации, а СООО «Конте СПА» – через участие специалистов в отраслевых выставках. Функции приобретения, развития, передачи, распространения и обмена знаниями опираются на дуальные инструменты. В высокотехнологичном секторе (резиденты Парка высоких технологий) преобладают гибкие формы в виде корпоративных Wiki-страниц и менторига, в то время как на ЗАО «Атлант» трансфер неявного опыта реализуется через наставничество, а на ОАО «8 марта» развитие компетенций обеспечивается программами освоения инновационных технологий. Оценка эффективности и обратная связь замыкает этот контур в непрерывный цикл. При фиксации отклонений технико-экономических показателей активизируется петля обратной связи, возвращающая систему к первичной диагностике компетенций для оперативной корректировки учебных программ.

Выводы

Проведённый анализ деятельности организаций Республики Беларусь показал, что элементы управления знаниями наиболее активно реализуются в рамках процессов производственного обучения, наставничества, стандартизации технологических знаний и внедрения цифровых систем документооборота. Вместе с тем выявлен ряд существенных проблем, сдерживающих развитие управления знаниями в отечественных организациях. К числу ключевых ограничений относятся: фрагментарный характер внедрения инструментов управления знаниями, дефицит инвестиций в развитие человеческих ресурсов, а также недостаточная мотивация работников к обмену знаниями. Для многих организаций характерно преобладание формальных механизмов передачи знаний, при которых значительная часть профессионального опыта концентрируется у отдельных специалистов и не трансформируется в корпоративный интеллектуальный капитал.

Дополнительной проблемой выступает высокий риск утраты критически важных знаний вследствие текучести кадров и старения трудовых ресурсов. Особенно остро данная проблема проявляется в промышленности, где значительная часть технологических знаний носит неявный характер и передаётся преимущественно через практический опыт и наставничество. В условиях дефицита квалифицированных кадров это повышает значимость институционализации знаний и формирования корпоративной памяти организации.

Полученные результаты позволяют обосновать необходимость внедрения концепции управления знаниями в организациях Республики Беларусь. В качестве приоритетных направлений следует выделить внедрение корпоративных цифровых платформ управления знаниями, расширение практики наставничества и непрерывного обучения персонала, развитие механизмов мотивации работников к обмену знаниями, привлечение инвестиций в профессиональное обучение работников, а также интеграцию инструментов управления знаниями в общую стратегию развития организации. Особое значение приобретает проведение качественной диагностики и организационного построения управления знаниями, использование технологий искусственного интеллекта, аналитики больших данных и цифровых платформ совместной работы, позволяющих повысить скорость распространения знаний и эффективность принятия управленческих решений.

Таким образом, результаты исследования подтверждают, что эффективное управление знаниями становится одним из ключевых факторов устойчивого развития организаций в современных условиях. Формирование системного подхода к управлению знаниями на микроуровне обеспечивает повышение инновационной активности, рост производительности труда, ускорение организационного обучения и укрепление конкурентных преимуществ отечественных предприятий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Бодрунов, С.Д. и Глазьев, С.Ю. (2021). *Экономика знаний как объект государственного управления. Современное государственное управление*. Москва: КРАСАНД (Российская Федерация).

Брагина, З.В. и Андреева, Н.Ю. (2014). *Управление организационным знанием промышленного предприятия: создание условий для проявления и использования творческой активности и предприимчивости персонала*. Москва: ИНФРА-М (Российская Федерация).

Голованова, О.С. и Масюк, Н.Н. (2024). Организационный механизм адаптивного управления человеческим капиталом в цифровой экосистеме организации. Территория новых возможностей. *Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса*, № 1, с. 92–105.

Горбенкова, Е.И. (2024). «Современный взгляд на классическую трактовку понятия человеческого капитала», *Вектор экономики*, (11) [Онлайн]. http://vectoreconomy.ru/images/publications/2024/11/economic-theory/Gorbenkova.pdf (дата обращения: 30.04.2026).

Делор, Ж. (1996). Образование: сокрытое сокровище. *Доклад Международной комиссии по образованию для XXI века, представленный ЮНЕСКО*. Париж: Издательство ЮНЕСКО.

Донцов, Н.С., Рыбальченко, А.С. и Ягодник, А.М. (2021). Создание самообучающейся организации. Сущность понятия «самообучающаяся организация», *Молодой исследователь Дона*, 2(29), с. 98–102.

Катькало, В.С. (2002). Ресурсная концепция стратегического управления: генезис основных идей и поняти., *Вестник Санкт-Петербургского университета. Менеджмент*, № 4. [Online], URL: https://cyberleninka.ru/article/n/resursnaya-kontseptsiya-strategicheskogo-upravleniya-genezis-osnovnyh-idey-i-ponyatiy-1 (дата обращения 04.05.2026).

Кудрявцева, Е.И. (2014). Актуальность концепции общества знаний Питера Друкера. *Управленческое консультирование*, 8(68), с. 111–118.

Левизов, В.А., Низаева, Л.И. и Великанова, Д.С. (2007). Проблемы использования менеджмента знаний в высшем учебном заведении. *Современный менеджмент: проблемы и перспективы : труды науч.-практ. конф.*, 15 марта 2007 г., С. 296–299.

Масюк, Н.Н., Голованова, О.С. и Герасимова, А.А. (2023). Концептуальные аспекты взаимосвязи управления знаниями и управления человеческим капиталом организации в условиях цифровых трансформаций: экосистемно-компетентностный подход. *Вестник евразийской науки*, № 4. [Online], URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-aspekty-vzaimosvyazi-upravleniya-znaniyami-i-upravleniya-chelovecheskim-kapitalom-organizatsii-v-usloviyah-tsifrovyh (дата обращения 02.05.2026).

Молодчик, М.А., Эсаулова, И.А. и Молодчик, А.В. (2021). Модель управления знаниями на основе организационно-мотивационных механизмов, *Управленческие науки*, № 2, с. 85–98.

Харитонова, Е.М. и Бунина, А.А. (2025). Образование сотрудников как дополнительный показатель географической представленности: дисбаланс в системе ООН, *Вестник международных организаций: образование, наука, новая экономика*, 20(3), с. 44–59.

Adner, R. (2012). *The Wide Lens: A New Strategy for Innovation*. New York: Portfolio Penguin, USA.

Chesbrough, H. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Boston: Harvard Business School Press, USA.

Edgar, W.B., Albright, K.S. and Krymskaya, A. (2024). 'Knowledge as a theoretical object: Implications for knowledge management'. *Journal of Information Science*, 50(4), pp. 502–517.

Moore, J.F. (1996). *The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems*. New York: Harper Business, USA.

Wolf, P., Skov Madsen, E. and Steppe, J.A. (2025). 'Bridging the theory-practice gap: A genealogical perspective on the most debated knowledge management challenges'. *Knowledge Management Research & Practice*, 23(3), pp. 263–286.

REFERENCES

Bodrunov, S.D., and Glazyev, S.Yu. (2021). *Ekonomika znanii kak obekt gosudarstvennogo upravleniya. Sovremennoe gosudarstvennoe upravlenie* [The Knowledge Economy as an Object of Public Administration. Modern Public Administration]. Moscow: KRASAND, pp. 164–176 (In Russian).

Bragina, Z.V. and Andreeva, N.Yu. (2014). *Upravlenie organizatsionnim znaniem promishlennogo predpriyatiya: sozdanie uslovii dlya proyavleniya i ispolzovaniya tvorcheskoi aktivnosti i predpriimchivosti personala* [Management of Organizational Knowledge in an Industrial Enterprise: Creating Conditions for the Manifestation and Use of Creative Activity and Entrepreneurship among Personnel]. Moscow: INFRA-M (In Russian).

Golovanova, O.S. and Masyuk, N.N. (2024). Organizational Mechanism of Adaptive Human Capital Management in the Digital Ecosystem of an Organization, Territory of New Opportunities [Organizatsionnii mekhanizm adaptivnogo upravleniya chelovecheskim kapitalom v tsifrovoi ekosisteme organizatsii, Territoriya novikh vozmozhnostei]. *Vestnik Vladivostokskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i servisa = Bulletin of the Vladivostok State University of Economics and Service*, No. 1, pp. 92–105 (In Russian).

Gorbenkova, E.I. (2024). A Modern View on the Classical Interpretation of the Concept of "Human Capital" [Sovremennii vzglyad na klassicheskuyu traktovku ponyatiya chelovecheskogo kapitala], *Vektor ekonomiki = Vector of Economics*, (11), [Online], URL: http://vectoreconomy.ru/images/publications/2024/11/economic-theory/Gorbenkova.pdf, (Accessed: 30.04.2026). (In Russian).

Delors, J. (1996). Education: The Treasure Within [Obrazovanie: sokritoe sokrovishche]. *Doklad Mezhdunarodnoi komissii po obrazovaniyu dlya XXI veka, predstavlennii YuNESKO = Report of the International Commission on Education for the 21st Century, presented by UNESCO*. Paris: UNESCO Publishing (In Russian).

Dontsov, N.S., Rybalchenko, A.S. and Yagodnik, A.M. (2021). Creating a Self-Learning Organization. The Essence of the Concept of a Self-Learning Organization [Sozdanie samoobuchayushchcheisya organizatsii. Sushchnost ponyatiya «samoobuchayushchayasya organizatsiya»], *Molodoi issledovatel Dona = Young Researcher of the Don*, 2(29), pp. 98–102 (In Russian).

Kat'kalo, V.S. (2002). Resource Concept of Strategic Management: Genesis of Basic Ideas and Concepts [Resursnaya kontseptsiya strategicheskogo upravleniya: genezis osnovnikh idei i ponyatii]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Menedzhment = Bulletin of St. Petersburg University. Management*, No. 4. [Online], URL: https://cyberleninka.ru/article/n/resursnaya-kontseptsiya-strategicheskogo-upravleniya-genezis-osnovnyh-idey-i-ponyatiy-1 (accessed: 04.05.2026) (In Russian).

Kudryavtseva, E.I. (2014). The Relevance of Peter Drucker's Concept of the Knowledge Society [Aktualnost kontseptsii obshchestva znanii Pitera Drukera]. *Upravlencheskoe konsultirovanie = Management Consulting*, 8(68), pp. 111–118 (In Russian).

Levizov, V.A., Nizayeva, L.I., and Velikanova, D.S. (2007). Problems of Using Knowledge Management in a Higher Education Institution [Problemi ispolzovaniya menedzhmenta znanii v visshem uchebnom zavedenii.]. *Sovremennii menedzhment: problemi i perspektivi : trudi nauch.-prakt. konf. = Modern Management: Problems and Prospects: Proceedings of the Scientific and Practical Conference*, March 15, 2007, pp. 296–299 (In Russian).

Masyuk, N.N., Golovanova, O.S., and Gerasimova, A.A. (2023). Conceptual Aspects of the Relationship between Knowledge Management and Human Capital Management in the Context of Digital Transformations: Ecosystem-competence approach [Kontseptualnie aspekti vzaimosvyazi upravleniya znaniyami i upravleniya chelovecheskim kapitalom organizatsii v usloviyakh tsifrovikh transformatsii: ekosistemno-kompetentnostnii podkhod]. *Vestnik yevraziiskoi nauki = Bulletin of Eurasian Science*, No. 4. [Online], URL: https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-aspekty-vzaimosvyazi-upravleniya-znaniyami-i-upravleniya-chelovecheskim-kapitalom-organizatsii-v-usloviyah-tsifrovyh (accessed 05/02/2026) (In Russian).

Molodchik, M.A., Esaulova, I.A. and Molodchik, A.V. (2021). Knowledge management model based on organizational and motivational mechanisms [Model upravleniya znaniyami na osnove organizatsionno-motivatsionnikh mekhanizmov].

Upravlencheskie nauki = Managerial Sciences. 2021. No. 2. Pp. 85–98 (In Russian).

Kharitonova, E.M. and Bunina, A.A. (2025). Education of Employees as an Additional Indicator of Geographical Representation: Imbalance in the UN System [Obrazovanie sotrudnikov kak dopolnitelnii pokazatel geograficheskoi predstavlennosti: disbalans v sisteme OON]. *Vestnik mezhdunarodnikh organizatsii: obrazovanie, nauka, novaya ekonomika = Bulletin of International Organizations: Education, Science, New Economy*. 20(3), pp. 44–59 (In Russian).

Adner, R. (2012). *The Wide Lens: A New Strategy for Innovation*. New York: Portfolio Penguin, USA.

Chesbrough, H. (2003). *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology*. Boston: Harvard Business School Press, USA.

Edgar, W.B., Albright, K.S. and Krymskaya, A. (2024). 'Knowledge as a theoretical object: Implications for knowledge management'. *Journal of Information Science*, 50(4), pp. 502–517.

Moore, J.F. (1996). *The Death of Competition: Leadership and Strategy in the Age of Business Ecosystems*. New York: Harper Business, USA.

Wolf, P., Skov Madsen, E. and Steppe, J.A. (2025). 'Bridging the theory-practice gap: A genealogical perspective on the most debated knowledge management challenges'. *Knowledge Management Research & Practice*, 23(3), pp. 263–286.

Информация об авторах | Information about the authors

Ванкевич Елена Васильевна
Доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: alena.vankevich1966@gmail.com

Иванова Анна Алексеевна
Аспирант кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: anna.ivanova.vstu@mail.ru

Alena V. Vankevich
Doctor of Science (in Economics), Professor of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: alena.vankevich1966@gmail.com

Anna A. Ivanova
Postgraduate Student of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: anna.ivanova.vstu@mail.ru

УДК 338.2 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-95-109

Цифровое развитие и финансовая эффективность бизнеса: взаимосвязь и взаимообусловленность

Т. В. Касаева, Е. С. Конюшко, Ю. Ю. Жихар

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. Достижение устойчивого конкурентного преимущества требует от современной организации одновременного развития и цифровой, и финансовой составляющих, рассмотрения их как взаимозависимых элементов единой стратегии. Без должного финансового обеспечения любые инициативы по внедрению цифровых технологий остаются трудновыполнимыми, но с другой стороны, без внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий финансовый успех имеет объективные границы. Взаимосвязь между уровнем цифровизации и финансовой эффективностью бизнеса носит двунаправленный, системный характер, так как финансовая состоятельность может являться как критерием ограничения цифровых технологий в организации, так и критерием целесообразности их внедрения и развития.

Целью данного исследования является разработка инструментов количественной оценки взаимосвязи уровня цифрового развития организации и уровня финансовой эффективности её деятельности, основанных на сравнении корпоративных показателей с показателями макроуровня и позволяющих анализировать взаимодействие цифровизации и финансовой устойчивости бизнеса.

Предложенный инструментарий оценки основан на использовании информационного обеспечения, доступного из форм государственных статистических наблюдений за деятельностью организаций и публикаций Национального статистического комитета Республики Беларусь: обозначен круг показателей сравнительного анализа и предложены критерии отнесения достигнутых значений отобранных показателей к высокому, среднему или низкому уровню. Разработаны инструменты сравнительной оценки достигнутых уровней показателей цифрового развития с финансовыми показателями, апробация которых произведена в условиях реальной коммерческой организации. Сделаны выводы о совпадении тенденций внедрения цифровых технологий и показателей, характеризующих финансовую эффективность деятельности организации.

Ключевые слова: цифровое развитие, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), финансовая эффективность, оценка уровня цифрового развития, оценка уровня финансовой эффективности, взаимосвязь цифрового и финансового развития.

Информация о статье: поступила 5 июня 2026 года.

Статья подготовлена по материалам доклада 59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 15–16 апреля 2026 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Digital development and financial efficiency of business: interrelation and interdependence

Tamara V. Kasayeva, Yauheniya S. Koniushka, Yulia Yu. Zhikhar

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. Achieving a sustainable competitive advantage requires a modern organization to simultaneously develop both its digital and financial components, treating them as interdependent elements of a single strategy. Without adequate financial support, any initiatives to introduce digital technologies remain difficult to implement, on the other hand, without the introduction and development of information and communication technologies, financial success has objective limits. The relationship between the level of digitalization and the financial efficiency of a business is bi-directional and systemic in nature, since financial viability can be both a criterion for limiting digital technologies in an organization and a criterion for

the expediency of their implementation and development.
The purpose of this study is to develop tools for quantifying the relationship between the level of digital development of an organization and the level of financial efficiency of its activities, based on comparing corporate indicators with macro-level indicators and allowing analysis of the interaction between digitalization and financial stability of a business.
The proposed assessment toolkit is based on the use of information support available from the forms of state statistical observations on the activities of organizations and publications of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus: a range of comparative analysis indicators is outlined, and criteria for attributing the achieved values of selected indicators to a high, medium or low level are proposed. Tools have been developed to compare the achieved levels of digital development indicators with financial indicators, and these have been tested in a real commercial organization. Conclusions are drawn about the coincidence of trends in the introduction of digital technologies and indicators characterizing the financial efficiency of the organization.
Keywords: digital development, information and communication technologies (ICT), financial efficiency, assessment of the level of digital development, assessment of the level of financial efficiency, the relationship between digital and financial development.
Article info: received June 5, 2026.
The article summarizes the research materials presented at the 59th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, held on April 15–16, 2026 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

В условиях цифровизации экономики одним из ключевых вопросов становится исследование взаимосвязи между уровнем развития ИКТ и финансовой эффективностью бизнеса. С одной стороны, более высокий уровень внедрения и развития ИКТ напрямую влияет на финансовую деятельность организации: снижаются издержки, ускоряется обработка транзакций, улучшается качество управленческих решений. Всё это приводит к повышению эффективности функционирования бизнеса, выраженной в росте показателей рентабельности, платежеспособности, деловой активности. С другой стороны, устойчивое финансовое состояние организации создаёт условия для её цифрового развития. Достаточный размер прибыли и чистого денежного потока свидетельствуют о возможностях организации финансировать внедрение современных цифровых технологий: больших данных, облачных сервисов, искусственного интеллекта и т. д. Более того, только финансово успешная фирма может позволить себе высокий уровень кибербезопасности.

Взаимообусловленность этих двух явлений выражается и в том, что организации, которые испытывают финансовые трудности, чаще всего отказываются от внедрения достаточно дорогостоящих продвинутых цифровых технологий. Однако их отставание в области внедрения информационно-коммуникационных технологий не только не способствует улучшению финансового состояния, а наоборот усугубляет его неустойчивость.

В исследованиях многих авторов делается вывод о положительном влиянии внедрения цифровых технологий на уровень доходности бизнеса. Так, авторы (Верзилин Д.Н. и др., 2025; Воронцовский А.В., 2020; Мельников А.С. и Калабина Е.Г., 2023; Третьякова Е.И. и Аренков И.А., 2025) отмечают, что использование искусственного интеллекта, облачных сервисов и анализ больших данных дают возможность создавать новые продукты, которые позволяют компаниям повышать свои доходы, снижать издержки и повышать эффективность своих бизнес-процессов. Авторы (Белалова Г., 2022; Ценжарик М.К. и др., 2020) концентрируют внимание на влиянии цифровых технологий на стратегию развития бизнеса через понимание того, что компанию можно сделать более рентабельной, если следовать технологическим изменениям на рынке. Обширная сфера влияния информационно-коммуникационных технологий на показатели деятельности организации отмечается экономистами (Зайцевой О.П., 2023; Орловым М.А., 2020; Хусаиновой Е.А. и Секиной Н.А., 2024; Черкасовой В.А. и Слепушенко Г.А., 2021): повышение производительности труда, улучшение качества продукции, минимизация капитальных вложений, увеличение скорости и качества работы, оптимизация запасов, управление рисками и другие аспекты эффективности бизнеса, обеспечивающие экономическую безопасность и стабильность.

Таким образом, исследователями рассматривается влияние цифровизации как на отдельные бизнес-процессы организации, например, продажи (Герасименко и др., 2023), так и в целом на ее экономический рост (Котванов М.В., 2023).

В то же время в отдельных исследованиях авторы (Близкий Р.С. и др., 2024; Васильев К. и Мосин А., 2025; Деревянко-Гоззи О., 2026; Краковская И.Н. и др., 2024; Селиванов И., 2026; Хотинская Г.И., 2025) признают финансовую состоятельность в качестве базового условия для цифровизации бизнеса. При этом речь идет не столько о прямом признании финансового состояния в качестве главного фактора, сколько о косвенных подтверждениях, где сама возможность внедрения ИКТ рассматривается как производная от финансовой устойчивости. Кроме этого отмечается необходимость финансовой оценки IT-проектов в качестве основного критерия целесообразности их реализации, так как в противном случае такого рода проекты остаются для бизнеса «чёрным ящиком».

Целью данного исследования является разработка инструментов количественной оценки взаимосвязи уровня цифрового развития организации и уровня финансовой эффективности её деятельности, основанных на сравнении корпоративных показателей с показателями макроуровня и позволяющих анализировать взаимодействие цифровизации и финансовой устойчивости бизнеса.

Методы и средства исследования

Теоретической базой исследования послужили научные труды белорусских и российских экономистов в области оценки влияния уровня цифровизации на эффективность деятельности организации, а также публикации, посвященные обоснованию финансовой успешности организации как базового условия ее цифрового развития.

Эмпирическую базу исследования составили показатели публикаций Национального статистического комитета Республики Беларусь, в частности, сборников «Информационное общество в Республике Беларусь» и «Статистический ежегодник Республики Беларусь», а также данные статистической и бухгалтерской отчетности объекта исследования: организации обрабатывающей промышленности, специализирующейся на производстве электронной бытовой техники.

Методическую базу исследования определили общенаучные методы познания: анализа и синтеза, группировки, сравнения, дедукции и обобщения, принципы и методы системного подхода.

Результаты исследования

Анализ и обобщение мнений исследователей позволил сделать вывод об актуальности разработки инструментов сравнительной оценки достигнутого экономическим субъектом уровнем цифрового развития и уровнями показателей, характеризующих финансовую эффективность его деятельности. Актуальность проблемы подчёркивают и проведенные ранее исследования (Касаева Т.В. и Конюшко Е.С., 2025), которые в результате обобщения мнений руководителей и специалистов позволили определить в составе основных факторов, сдерживающих внедрение информационно-коммуникационных технологий в промышленных организациях «отсутствие денежных средств» (отметили около 60 % респондентов) и «неопределенность выгоды» (более 20 % респондентов).

При определении содержания информационного обеспечения такой сравнительной характеристики были выявлены следующие проблемы:

– государственные статистические наблюдения за уровнем внедрения цифровых технологий ведутся с периодичностью 2 года; в ближайшей ретроспективе – 2020, 2022, 2024 год, в то время как финансовая деятельность организаций оценивается ежегодно;

– показатели цифровых технологий приводятся в формате «да/нет», то есть внедрены отдельные технологии либо нет, в то время как финансовые показатели представлены в виде числовых значений;

– возможности сравнения уровня развития ИКТ на корпоративном и макроуровне достаточно широки, что отмечалось в статье (Касаева Т.В. и Жихар Ю.Ю., 2026), в то время как по финансовым показателям они значительно ограничиваются наличием соответствующей информации в публикациях Национального статистического комитета.

Для приведения данных в сопоставимый вид в качестве ключевого критерия целесообразно, на наш взгляд, использовать дифференциацию по уровням: высокий, средний, низкий.

В контексте предложенного подхода в соответствии с целью исследования оценка уровня цифрового развития организации может быть проведена по разработанной ранее авторами методике (Касаева Т.В. и Жихар Ю.Ю., 2026), которая предусматривает построение карты оценки уровня развития ИКТ в организации с цве-

товым обозначением каждого из возможных вариантов сравнительной оценки показателей исследуемой организации с показателями макроуровня. Перевод карты оценки в уровни высокий, средний и низкий, на наш взгляд, следует производить в соответствии с таблицей 1.

В свою очередь, присвоение идентичных уровней показателям финансовой эффективности, которые, как уже отмечалось имеют количественное измерение, предлагается производить по результатам сравнения с достигнутыми показателями соответствующей секции национальной экономики, исходя из таблицы 2.

На следующем этапе исследования формировался круг показателей, по которым представляется возможным сравнение финансовых показателей конкретной организации с одноименными показателями на макроуровне в соответствии с принятой секторной классификацией национальной экономики. Изучение информационного содержания публикаций Национального статистического комитета Республики Беларусь позволило сформировать следующую систему показателей финансовой эффективности, исходя из возможности их количественного измерения по соответствующим секциям (таблица 3).

Таким образом, несмотря на ограниченные возможности в расчёте показателей финансовой эффективности деятельности организаций на макроуровне, сформированная система показателей позволяет дать достаточно многогранную сравнительную оценку.

Таблица 1 – Варианты сравнительного анализа, их цветовое обозначение в карте оценки и присвоение уровня развития по соответствующему показателю

Table 1 – Comparative analysis options, their color coding in the assessment map and assignment of the level of development for the corresponding indicator

Описание варианта	Цветовое обозначение	Достигнутый уровень показателя
Организация внедрила элемент ИКТ, на макроуровне его внедрило менее 50 % общего количества организаций	зеленый	высокий
Организация внедрила элемент ИКТ, на макроуровне его внедрило более 50 % общего количества организаций	желтый	средний
Организация не использует элемент ИКТ, на макроуровне его внедрило менее 50 % общего количества организаций	оранжевый	низкий
Организация не использует элемент ИКТ, на макроуровне его внедрило более 50 % общего количества организаций	красный	низкий

Источник: составлено авторами.

Таблица 2 – Варианты сравнительной оценки и присвоения уровня по соответствующему показателю

Table 2 – Options for comparative assessment and assignment of a level according to the corresponding indicator

Описание варианта	Достигнутый уровень показателя
Достигнутое организацией значение показателя на 10 % и более выше (ниже) достигнутого на макроуровне	высокий
Достигнутое организацией значение показателя отклоняется от среднего на макроуровне не более чем 10 %	средний
Достигнутое организацией значение показателя на 10 % и более ниже (выше) достигнутого на макроуровне	низкий

Источник: составлено авторами.

Примечание: наличие характеристики «выше (ниже)» вызвано тем, что по отдельным показателям повышение финансовой эффективности характеризуется снижением показателя, в то время как по преобладающему большинству показателей – их ростом.

Таблица 3 – Показатели финансовой эффективности для сравнительной оценки корпоративного и макроуровня
Table 3 – Financial performance indicators for comparative assessment at the corporate and macro levels

Группа показателей	Характеристика группы	Показатели
Показатели рентабельности	Общепринятые показатели финансовых результатов деятельности коммерческой организации, характеризующие уровень прибыльности бизнеса в исследуемом периоде и традиционно исчисляемые на основе трех подходов: затратного, доходного и ресурсного	Рентабельность продаж (доходный подход). Рентабельность продукции (затратный подход). Рентабельность основных средств (ресурсный подход)
Показатели финансового состояния	В преобладающем количестве это коэффициентные показатели, исчисляемые на определенную дату и характеризующие моментную платежеспособность и финансовую устойчивость бизнеса, для многих из которых установлены нормативные значения, сигнализирующие о возможных финансовых проблемах для организации	Коэффициент текущей ликвидности (нормативное значение ≥1,3). Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами (нормативное значение ≥0,2). Коэффициент обеспеченности обязательств активами (нормативное значение ≤0,85). Коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности
Показатели динамики	Темповые показатели рассматриваются как нивелирующие статичность коэффициентов финансового состояния и характеризующие уровень финансовой безопасности бизнеса	Темп роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг. Темп роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг. Темп роста чистой прибыли
Показатели эталонной экономической модели	Индикаторы, с помощью которых можно оценить ситуацию и проанализировать результаты деятельности организации, так как важное значение имеет не только динамика каждого показателя в отдельности, но и их взаимосвязь, положенная в основу «золотого правила экономики предприятия»	Коэффициент опережения темпов роста чистой прибыли над темпами роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг. Коэффициент опережения темпов роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг над темпами роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг

Источник: составлено авторами.

Сопоставление результатов оценки уровня развития ИКТ в организации и уровня финансовой эффективности ее деятельности может быть произведено на основе сравнения удельных весов показателей, которым был присвоен соответственно высокий, средний и низкий уровень, и их динамики.

Таким образом, исследование взаимосвязи цифрового развития организации и финансовой эффективности ее деятельности предполагает следующие этапы:

– построение карты оценки развития ИКТ в организации;

– перевод показателей карты в уровни: высокий, средний, низкий;

– расчет показателей финансовой эффективности деятельности организации и соответствующих показателей по секции национальной экономики;

– присвоение достигнутым организацией финансовым показателя уровней: высокий, средний, низкий – на основе сравнения с показателями макроуровня;

– сравнение удельных весов показателей высокого, среднего и низкого уровня, характеризующих внедрение ИКТ в организации, с удельными весами соответствующего уровня финансовых показателей в динамике.

Анализ полученных результатов

В соответствии с обозначенными этапами проведено исследование динамики уровня цифрового развития и финансовой эффективности деятельности реального экономического субъекта Витебского региона: организации, которая специализируется на производстве электронной бытовой техники, и в соответствии с основным видом своей деятельности включена в собирательную статистическую группировку «сектор ИКТ», в частности в группу «отрасли производства ИКТ». Логическим обоснованием выбора объекта исследования послужило следующее: если организация занимается производством продукции, которая относится к сектору ИКТ, то и бизнес-процессы организации сопровождаются внедрением цифровых технологий, что позволит исследовать их динамику. С другой стороны, высокий уровень конкуренции на рынке электронной бытовой техники требует от организации постоянного поиска оптимизации своих бизнес-процессов, чему в значительной мере могут способствовать цифровые технологии.

В соответствии с методикой, изложенной в (Касаева ТВ. и Жихар Ю.Ю., 2026) были построены карты циф-

Таблица 4 – Результаты построения карт оценки цифрового развития объекта исследования в период с 2020 по 2024 год (фрагмент)

Table 4 – Results of constructing maps for assessing the digital development of the research object for the period from 2020 to 2024 (excerpt)

Показатель	2020 год	2022 год	2024 год
Использование локальных вычислительных сетей	желтый	желтый	желтый
Использование Интернета	желтый	желтый	желтый
Использование Интранета	зеленый	зеленый	зеленый
Использование Экстранета	оранжевый	оранжевый	оранжевый
Использование облачных сервисов	-	оранжевый	оранжевый
Наличие веб-сайта	желтый	желтый	желтый
...	...	...	...
Направления использования облачных сервисов: – доступ к программному обеспечению, предоставляемому провайдером облачных сервисов	-	оранжевый	оранжевый
– размещение собственного программного обеспечения	-	оранжевый	оранжевый
– размещение баз данных, хранение файлов	-	оранжевый	оранжевый
– электронная почта	-	оранжевый	оранжевый
– другие цели	-	оранжевый	оранжевый
...	...	...	...
Цели использования сети Интернет: ...	...	...	...
– получение доступа к другим финансовым услугам	зеленый	желтый	зеленый
...	...	...	...
Использование технологии «Большие данные»	-	-	оранжевый
Использование технологии «Искусственный интеллект»	-	-	оранжевый
Использование технологии «RFID»	-	-	зеленый
...	...	...	...

Источник: составлено авторами на основе статистической отчетности организации по форме 6-икт «Анкета об использовании цифровых технологий в организации».

рового развития исследуемой организации в 2020, 2022 и 2024 годах. Фрагменты карт, в которых указано цветовое обозначение, соответствующее вариантам, обозначенным выше, приведены в таблице 4.

Отсутствие в отдельных строках оценок (в таблице 4 обозначены «-») объясняется изменениями в содержании государственных статистических наблюдений за уровнем развития ИКТ в организациях: например, перечень наблюдаемых элементов ИКТ в 2022 году был дополнен направлениями использования облачных сервисов, а в 2024 году – использованием технологий «Большие данные», «Искусственный интеллект», «RFID», «Цифровой двойник» и др.

В соответствии с присвоенными цветовыми обозначениями отдельным элементам ИКТ далее произведено их преобразование в соответствующие уровни, фрагмент которого приведен в таблице 5.

Обобщение итоговых оценок отдельных элементов ИКТ (таблица 6) указывает на неоднозначную тенденцию цифрового развития организации: значительный спад в период с 2020 до 2022 года и активизация деятельности организации в сфере внедрения ИКТ в период с 2022 до 2024 года.

С целью оценки финансовой эффективности деятельности организации и присвоения уровней показателям, характеризующим её для 2020, 2022 и 2024 года составлены сравнительные таблицы по установленному перечню показателей. Как было отмечено, присвоение уровней происходило на основе оценки отклонений корпоративных показателей от показателей макроуров-

Таблица 5 – Присвоение уровней показателям цифрового развития в соответствии с построенными картами оценки уровня развития ИКТ (фрагмент)

Table 5 – Assigning levels to digital development indicators in accordance with the constructed ICT development level assessment maps (fragment)

Показатель	2022 год		2024 год	
	цвет в карте	уровень	цвет в карте	уровень
Использование локальных вычислительных сетей	желтый	средний	желтый	средний
Использование Интернета	желтый	средний	желтый	средний
Использование Интранета	зеленый	высокий	зеленый	высокий
Использование Экстранета	оранжевый	низкий	оранжевый	низкий
Использование облачных сервисов	оранжевый	низкий	оранжевый	низкий
Наличие веб-сайта	желтый	средний	желтый	средний
…	…	…	…	…
Направления использования облачных сервисов: – по всем направлениям	оранжевый	низкий	оранжевый	низкий
Цели использования сети Интернет: …	…	…	…	…
– получение доступа к другим финансовым услугам	желтый	средний	зеленый	высокий
…	…	…	…	…
Использование технологии «Большие данные»	-	-	оранжевый	низкий
Использование технологии «Искусственный интеллект»	-	-	оранжевый	низкий
Использование технологии «RFID»	-	-	зеленый	высокий
…	…	…	…	…

Источник: составлено авторами.

Таблица 6 – Итоговая оценка уровней показателей, характеризующих внедрение ИКТ в исследуемой организации
Table 6 – Final assessment of the levels of indicators characterizing the implementation of ICT in the organization under study

Характеристика достигнутого уровня	Распределение показателей по достигнутым уровням, %		
	2020 год	2022 год	2024 год
Высокий	29	21	24
Средний	59	54	56
Низкий	12	25	20
Всего	100	100	100

Источник: составлено авторами.

Таблица 7 – Оценка финансовых показателей, характеризующих деятельность объекта исследования в 2020 году, в сравнении с показателями, сложившимися по обрабатывающей промышленности
Table 7 – Assessment of financial indicators characterizing the activities of the research object in 2020, in comparison with the indicators accepted in the manufacturing industry

Показатель	Значение показателя		Оценка уровня в сравнении с ВЭД
	объект исследования	ВЭД	
1. Темп роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	178,3	102,0	высокий
2. Темп роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	214,1	121,9	высокий
3. Темп роста чистой прибыли, %	294,9	56,83	высокий
4. Коэффициент текущей ликвидности, %	57,3	116,7	низкий
5. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, %	-74,6	14,3	низкий
6. Коэффициент обеспеченности обязательств активами, %	59,4	60,2	средний
7. Коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности, %	34,8	30,4	высокий
8. Рентабельность продаж, рассчитанная по чистой прибыли, %	4,9	2,8	высокий
9. Рентабельность продаж, рассчитанная по прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	9,3	10,3	средний
10. Рентабельность продукции, %	11,8	13,2	средний
11. Рентабельность основных средств, рассчитанная по чистой прибыли, %	13,6	3,3	высокий
12. Рентабельность основных средств, рассчитанная по прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	14,9	12,2	высокий
13. Коэффициент опережения темпов роста чистой прибыли над темпами роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг	1,3773	0,4662	высокий
14. Коэффициент опережения темпов роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг над темпами роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг	1,2010	1,1958	средний

Источник: составлено авторами по данным отчетности организации за 2020 год и показателям Статистического ежегодника Республики Беларусь, 2020. – URL: https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/c68/c68ec3c1ac53374bedc363044769f2c1.pdf (дата обращения: 29.05.2026).

ня. В таблице 7 приведены результаты данного этапа исследования за 2020 год.

Проанализировав финансовые показатели в таблице 7 можно сделать вывод о том, что 2020 год был для организации периодом финансового благополучия на фоне обрабатывающей промышленности: опережающие темпы роста выручки, прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг и чистой прибыли; значительное превышение рентабельности основных средств., по чистой прибыли также значительно превышала среднеотраслевой уровень. Одновременно проявилась такая проблема, как дефицит ликвидности и высокая зависимость от заёмного капитала, которая выразилась в отсутствии собственных оборотных средств.

Аналогичные расчеты и их интерпретация были выполнены и для других периодов исследования с использованием показателей статистической и бухгалтерской отчетности организации и показателей, приводимых в ежегодных публикациях Национального статистического комитета Республики Беларусь. Так как исследование проводилось с целью изучения взаимозависимости цифрового и финансового аспектов деятельности организации, финансовые показатели анализировались за соответствующие периоды, по которым имеется информация о внедрении ИКТ (таблица 8).

Можно констатировать финансовый кризис 2022 г. для исследуемого бизнеса на фоне развития соответствующего вида экономической деятельности: соотношение дебиторской и кредиторской задолженности – единственный показатель с оценкой «высокий», в то время как 12 из 14 показателей находятся на уровне значительно достигнутых на макроуровне.

Таблица 8 – Оценка уровня финансовых показателей, характеризующих деятельность организации в исследуемом периоде, в сравнении с показателями, сложившимися по ВЭД
Table 8 – Assessment of the level of financial indicators characterizing the activities of the organization in the period under study, in comparison with the accepted indicators by the type of economic activity

Показатель	2020 год	2022 год	2024 год
1. Темп роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	высокий	низкий	средний
2. Темп роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	высокий	низкий	средний
3. Темп роста чистой прибыли, %	высокий	низкий	низкий
4. Коэффициент текущей ликвидности, %	низкий	низкий	низкий
5. Коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, %	низкий	низкий	низкий
6. Коэффициент обеспеченности обязательств активами, %	средний	средний	высокий
7. Коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности, %	высокий	высокий	низкий
8. Рентабельность продаж, рассчитанная по чистой прибыли, %	высокий	низкий	низкий
9. Рентабельность продаж, рассчитанная по прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	средний	низкий	средний
10. Рентабельность продукции, %	средний	низкий	средний
11. Рентабельность основных средств, рассчитанная по чистой прибыли, %	высокий	низкий	высокий
12. Рентабельность основных средств, рассчитанная по прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг, %	высокий	низкий	высокий
13. Коэффициент опережения темпов роста чистой прибыли над темпами роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг	высокий	низкий	низкий
14. Коэффициент опережения темпов роста прибыли от реализации продукции, товаров, работ, услуг над темпами роста выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг	средний	низкий	низкий

Источник: составлено авторами.

Таблица 9 – Итоговая оценка уровней показателей, характеризующих финансовую эффективность исследуемого бизнеса

Table 8 – Final assessment of the levels of indicators characterizing the financial efficiency of the business under study

Характеристика достигнутого уровня	Распределение показателей по достигнутым уровням, %		
	2020 год	2022 год	2024 год
Высокий	57	7	21
Средний	29	7	29
Низкий	14	86	50
Всего	100	100	100

Источник: составлено авторами.

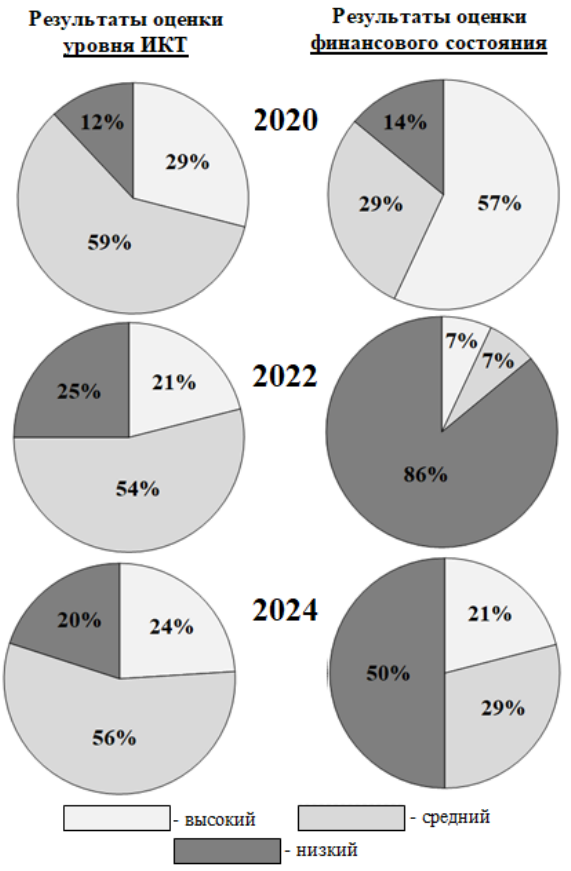


Рисунок 1 – Сравнение уровней цифрового развития и финансовой эффективности деятельности организации в период с 2020 года по 2024 год

Figure 1 – Comparison of the levels of digital development and financial performance of the organization from 2020 to 2024

Источник: составлено авторами.

В свою очередь, 2024 год можно отметить как начало финансового восстановления: доля низких показателей сократилась, появились позитивные изменения, однако сохраняются проблемы с генерацией чистой прибыли.

Результаты итоговой оценки финансовой эффективности организации в анализируемом периоде приведены в таблице 9.

На данном этапе исследования представляется возможным сопоставление итоговых результатов оценки за исследуемый период (рисунок 1).

По результатам сравнения диаграмм могут быть сделаны следующие выводы:

– финансовое лидерство объекта исследования в 2020 году в значительной степени обусловлено его лидерством в цифровом развитии, так как в организации были внедрены почти треть элементов информационно-коммуникационных технологий, которые не нашли широкого применения на макроуровне;

– совпадение трендов цифровой и финансовой динамики в 2022 году позволяет утверждать, что финансовое ухудшение было усугублено отсутствием прогресса в цифровизации, а финансовые ограничения в свою очередь сделали невозможными инвестиции в ИКТ (как отмечалось ранее – двунаправленный характер влияния);

– по истечении двух лет наблюдается частичное финансовое восстановление и заметное цифровое развитие, однако ни в одной из этих сфер организация ещё не достигла уровней 2020 года.

Оценка взаимосвязи динамики двух изучаемых явлений, на наш взгляд, может быть дана с помощью коэффициентов эластичности, которые рассчитываются по соотношениям темпов прироста результирующих переменных к темпам прироста факторных переменных

и позволяют оценить на сколько процентов изменяется признак-результат при изменении признака-фактора на 1 %. Для расчета коэффициентов эластичности были определены темпы прироста удельных весов каждого уровня показателей цифрового развития и финансовых показателей: в 2022 году по сравнению с 2020 годом и в 2024 году в сравнении с 2022 годом. Сопоставление темпов прироста производилось для удельных весов каждой группы показателей: высокого уровня, среднего и низкого. Учитывая, что речь идет о двунаправленном влиянии, расчеты произведены для двух вариантов (таблица 10).

Таким образом, весьма значительные колебания в динамике показателей финансовой эффективности деятельности организации и менее существенные колебания в показателях цифрового развития вызвали большую разницу в значениях коэффициентов эластичности при изменении роли факторных и результирующих признаков: показатели среднего уровня оказались более чувствительными друг к другу при оценке влияния цифрового развития на финансовые показатели, в то время как низкий уровень финансовых показателей более существенно по сравнению с другими уровнями вызывает отставание в области развития ИКТ.

Выводы

Результаты проведенного исследования подтвердили теоретическую гипотезу о том, что уровень развития информационно-коммуникационных технологий объективно влияет на финансовое состояние организации. В периоды финансовой стабильности цифровые технологии выступают драйвером роста эффективности. Связь между исследуемыми явлениями носит двунаправленный характер: в периоды финансового кризиса низкая ликвидность и дефицит собственных средств блокируют возможность цифровой модернизации, консервируя технологическое отставание и затрудняя последующее восстановление.

Апробация разработанного подхода к анализу взаимосвязи цифрового развития и финансовых результатов функционирования организации позволила продемонстрировать его целесообразность и эффективность для сравнительной оценки динамики исследуемых явлений и определения направлений деятельности по их взаимосвязанному росту. Так, в исследуемой организации достаточно высокая доля не внедренных ИКТ, прежде всего связана с переходом экономики от цифровизации к цифровой трансформации, которая преображает все бизнес-процессы и связана с такими технологиями как «Большие данные», «Искусственный интеллект», облачные сервисы и другие. Наиболее актуальными направлениями цифрового развития для объекта исследования, на наш взгляд, являются:

– применение технологий «Искусственного интеллекта» для работы с дебиторами, которые одновременно позволят улучшить финансовые коэффициенты и повысить долю показателей высокого уровня при оценке развития ИКТ. Например, может быть использована разработанная компанией RoboVoice инновационная система на базе искусственного интеллекта, которая способна вести культурный и адаптивный диалог

Таблица 10 – Оценка взаимосвязи показателей, характеризующих финансовую эффективность и цифровое развитие по выделенным уровням

Table 10 – Assessment of the relationship between indicators characterizing financial efficiency and digital development at selected levels

Уровень показателей	Коэффициенты эластичности, характеризующие влияние показателей цифрового развития на финансовые показатели		Коэффициенты эластичности, характеризующие влияние финансовых показателей на показатели цифрового развития	
	2022 год	2024 год	2022 год	2024 год
Высокий	18,75	5,34	0,05	0,19
Средний	33,80	21,08	0,03	0,05
Низкий	1,61	2,88	0,62	0,34

Источник: составлено авторами.

с должниками, обеспечивая не только автоматизацию коммуникаций, но и сбор данных для анализа клиентской базы;

– переход от локальных файловых серверов к облачному объектному хранилищу, что позволяет отказаться от затрат на приобретение и обслуживание собственных серверов (их амортизация, затраты на электроэнергию, охлаждение, заработная плата IT-персонала на их поддержку) и, как следствие, повысить показатели рентабельности. Для объекта исследования целесообразно рассматривать S3-хранилище, которое по функциональности является аналогом широко известных сервисов (Dropbox, pCloud, Mega), но адаптировано для промышленного предприятия и белорусского правового поля. Использование облачных сервисов позволяет повысить оценки и показателей ИКТ, и показателей финансовой эффективности.

Таким образом, оценка взаимосвязи цифрового и финансового развития становится необходимым инструментом в обосновании принятия решений по развитию бизнеса, в формировании его стратегии и достижении поставленных целей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Белалова, Г. (2022). Влияние цифровизации на повышение эффективности бизнес-процессов предприятия. *Экономика и социум*, № 4(95), С. 252–257.

Близкий, Р.С., Данильченко, Т.С. и Гулуа, С.В. (2024). Финансовый мониторинг компаний IT-сектора Российской Федерации: сущность, научные подходы и особенности. *Научный журнал «Управленческий учет»*, № 1, С. 35–48.

Васильев, К. и Мосин, А. (2025). Экономическая эффективность ИТ: как превратить затраты в инвестиции. *GlobalCIO*, (Online), URL: https://globalcio.ru/discussion/52313/ (дата обращения: 14.05.2026).

Верзилин, Д.Н., Максимова, Т.Г. и Шаныгин, С.И. (2025). Облачные технологии в развитии институтов цифровой трансформации российской экономики: статистическое исследование. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, № 41(1), С. 146–178.

Воронцовский, А.В. (2020). Цифровизация экономики и ее влияние на экономическое развитие и общественное благосостояние. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, Т. 36, Вып. 2, С. 189–216.

Герасименко, В.В., Курбацкий, А.Н. и Куркова, Д.Н. (2023). Цифровизация рыночных взаимодействий российских предприятий. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, № 39(4), С. 534–559.

Деревянко-Гоззи, О. (2026). Как выбирать, что стоит цифровизовать. *РБК Компании*, (Online), URL: https://companies.rbc.ru/news/YbtGU2hmWH/kak-vyibirat-chto-stoit-tsifrovizovat/, (дата обращения: 14.05.2026).

Зайцева, О.П. (2023). Влияние информационных технологий на финансовую деятельность предприятия. *Научное обозрение. Экономические науки*, № 1, С. 26–29, (Online), URL: https://science-economy.ru/ru/article/view?id=1117, (дата обращения: 12.05.2026).

Касаева, Т.В. и Жихар, Ю.Ю. (2026). Информационное обеспечение и инструменты оценки уровня цифрового развития организации. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1(55), С. 133–147. DOI:10.24412/2079-7958-2026-1-133-147.

Касаева, Т.В. и Конюшко, Е.С. (2025). Анализ факторов, препятствующих развитию цифровых процессов в организациях. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2(52), С. 176–190. DOI:10.24412/2079-7958-2025-2-176-190.

Котванов, М.В. (2023). Влияние цифровых технологий на экономический рост. *Вестник Томского государственного университета. Экономика*, № 62, С. 190–212.

Краковская, И.Н., Корокошко, Ю.В. и Слушкина, Ю.Ю. (2024). Цифровая зрелость промышленных предприятий: опыт оценки. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, № 40(3), С. 433–459.

Мельников, А.С. и Калабина, Е.Г. (2023). Влияние цифровизации на финансовые результаты компании. *Мировая экономика и международный бизнес: эффекты цифровизации и ESG-трансформации*, (Online), URL: https://school.kontur.ru/publications/2656#, (дата обращения: 12.05.2026).

Орлов, М.А. (2020). Влияние современных информационных технологий на экономическую стабильность предприятия. *Вестник Евразийской науки*, Т. 12, № 2, (Online), URL: https://esj.today/PDF/74ECVN220.pdf, (дата обращения: 13.05.2025).

Селиванов, И. (2026). Как привычная модель бюджетирования в ИТ сдерживает развитие бизнеса. *РБК Компании*, (Online), URL: https://companies.rbc.ru/news/ZXPqudtBe7/kak-privyichnaya-model-byudzhetirovaniya-v-it-sderzhivaet-razvitie-biznesa/, (дата обращения: 14.05.2026).

Третьякова, Е.И. и Аренков, И.А. (2025). Инновационные бизнес-модели российских высокотехнологичных компаний. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, № 41(2), С. 296–320.

Хотинская, Г.И. (2025). Финансовые измерения в корпоративном менеджменте: от к-анализа к датацентричности. *Российский экономический журнал*, № 2. С. 79–94.

Хусаинова, Е.А. и Серкина, Н.А. (2024). Влияние информационных технологий на развитие бизнеса. *Международный научно-исследовательский журнал*, № 4(142). (Online), URL: https://research-journal.org/media/articles/11833.pdf, (дата обращения: 14.05.2025).

Ценжарик, М.К., Крылова, Ю.В. и Стешенко, В.И. (2020). Цифровая трансформация компаний: стратегический анализ, факторы влияния и модели. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, Т. 36, Вып. 3, С. 390–420.

Цифровизация: что это и какое влияние оказывает на бизнес, (Online), URL: https://iflex.ru/blog/cifrovizaciya-chto-ehto-i-kakoe-vliyanie-okazyvaet-na-biznes/, (дата обращения: 14.05.2026).

Черкасова, В.А. и Слепушенко, Г.А. (2021). Влияние цифровизации бизнеса на финансовые показатели российских компаний. *Финансы: теория и практика*, Т. 25, № 2, С. 128–142.

REFERENCES

Belalova, G. (2022). The Impact of Digitalization on Improving the Efficiency of Enterprise Business Processes [Vliyaniye tsifrovizatsii na povysheniye effektivnosti biznes-protsessov predpriyatiya]. *Ekonomika i sotsium = Economy and Society*, no. 4(95), pp. 252–257 (In Russian).

Blizkiy, R.S., Danilchenko, T.S. and Gulua, S.V. (2024). Financial monitoring of IT sector companies in the Russian Federation: essence, scientific approaches and features [Finansovyy monitoring kompaniy IT-sektora Rossiyskoy Federatsii: sushchnost', nauchnyye podkhody i osobennosti]. *Nauchnyy zhurnal «Upravlencheskiy uchet» = Scientific journal "Management accounting"*, no. 1, pp. 35–48 (In Russian).

Vasiliev, K. and Mosin, A. (2025). Economic Efficiency of IT: How to Turn Costs into Investments [Ekonomicheskaya effektivnost' IT: kak prevratit' zatraty v investitsii]. *GlobalCIO = GlobalCIO*, (Online), URL: https://globalcio.ru/discussion/52313/ (Accessed: 14.05.2026) (In Russian).

Verzilin, D.N., Maximova, T.G. and Shanygin, S.I. (2025). Cloud technologies in the development of institutions for digital transformation of the Russian economy: Statistical research [Oblachnyye tekhnologii v razvitii institutov tsifrovoy transformatsii rossiyskoy ekonomiki: statisticheskoye issledovaniye]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, no. 41 (1), pp. 146–178 (In Russian).

Vorontsovsky, A.V. (2020). Digitalization of the Economy and Its Impact on Economic Development and Public Welfare [Tsifrovizatsiya ekonomiki i yeye vliyaniye na ekonomicheskoye razvitiye i obshchestvennoye blagosostoyaniye]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, vol. 36, iss. 2, pp. 189–216 (In Russian).

Gerasimenko, V.V., Kurbatsky, A.N. and Kurkova, D.N. (2023). Digitalization of Market Interactions of Russian Enterprises [Tsifrovizatsiya rynochnykh vzaimodeystviy rossiyskikh predpriyatiy]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, no. 39(4), pp. 534–559 (In Russian).

Derevyanko-Gozzi, O. (2026). How to Choose What to Digitalize. *RBC Companies* [Kak vybirat', chto stoit tsifrovizovat'. RBK Kompanii], (Online), URL: https://companies.rbc.ru/news/YbtGU2hmWH/kak-vyibirat-chto-stoit-tsifrovizovat/, (Accessed: 14.05.2026) (In Russian).

Zaitseva, O.P. (2023). The Impact of Information Technologies on the Financial Activities of an Enterprise [Vliyaniye informatsionnykh tekhnologiy na finansovuyu deyatel'nost' predpriyatiya. Nauchnoye obozreniye]. *Ekonomicheskiye nauki = Scientific Review. Economic Sciences*, no. 1, pp. 26–29, (Online), URL: https://science-economy.ru/ru/article/view?id=1117, (Accessed: 12.05.2026) (In Russian).

Kasayeva, T.V. and Zhikhar, Yu.Yu. (2026). Information support and tools for assessing the level of digital development of an organization [Informatsionnoye obespecheniye i instrumenty otsenki urovnya tsifrovogo razvitiya organizatsii]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, no. 1(55), pp. 133–147 (In Russian). DOI: 10.24412/2079-7958-2026-1-133-147.

Kasayeva, T.V. and Koniushka, Ya.S. (2025). Analysis of factors hindering the development of digital processes in organizations [Analiz faktorov, prepyatstvuyushchikh razvitiyu tsifrovykh protsessov v organizatsiyakh]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, no. 2(52), pp. 176–190 (In Russian). DOI: 10.24412/2079-7958-2025-2-176-190.

Kotvanov, M.V. (2023). The Impact of Digital Technologies on Economic Growth [Vliyaniye tsifrovykh tekhnologiy na ekonomicheskiy rost]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Tomsk State University. Economics*, no. 62, pp. 190–212 (In Russian).

Krakovskaya, I.N., Korokoshko, Yu.V. and Slushkina, Yu.Yu. (2024). Digital maturity of industrial enterprises: assessment experience [Tsifrovaya zrelost' promyshlennykh predpriyatiy: opyt otsenki]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, no. 40(3), pp. 433–459 (In Russian).

Melnikov, A.S. and Kalabina, E.G. (2023). The Impact of Digitalization on a Company's Financial Performance [Vliyaniye tsifrovizatsii na finansovyye rezul'taty kompanii]. *Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnyy biznes: effekty tsifrovizatsii i ESG-transformatsii = Global Economy and International Business: Effects of Digitalization and ESG Transformation*, (Online), URL: https://school.kontur.ru/publications/2656#, (Accessed: 12.05.2026) (In Russian).

Orlov, M.A. (2020). The Impact of Modern Information Technologies on the Economic Stability of an Enterprise [Vliyaniye sovremennykh informatsionnykh tekhnologiy na ekonomicheskuyu stabil'nost' predpriyatiya]. *Vestnik Yevraziyskoy nauki = Bulletin of Eurasian Science*, vol. 12, no. 2, (Online), URL: https://esj.today/PDF/74ECVN220.pdf, (Accessed: 13.05.2025) (In Russian).

Selivanov, I. (2026). How the Traditional Budgeting Model in IT Holds Back Business Development. *RBC Companies* [Kak privychnaya model' byudzhetirovaniya v IT sderzhivayet razvitiye biznesa. RBK Kompanii], (Online), URL: https://companies.rbc.ru/news/ZXPqudtBe7/kak-privyichnaya-model-byudzhetirovaniya-v-it-sderzhivaet-razvitie-biznesa/, (Accessed: 14.05.2026) (In Russian).

Tretyakova, E.I. and Arenkov, I.A. (2025). Innovative business models of Russian high-tech companies [Innovatsionnyye biznes-modeli rossiyskikh vysokotekhnologichnykh kompaniy]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, no. 41(2), pp. 296–320 (In Russian).

Khotinskaya, G.I. (2025). Financial measurements in corporate management: from k-analysis to data-centricity [Finansovyye izmereniya v korporativnom menedzhmente: ot k-analiza k datatsentrichnosti]. *Rossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal = Russian Economic Journal*, no. 2, pp. 79–94 (In Russian).

Khusainova, E.A. and Serkina, N.A. (2024). The Impact of Information Technologies on Business Development [Vliyaniye informatsionnykh tekhnologiy na razvitiye biznesa]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal = International Research Journal*, no. 4(142). (Online), URL: https://research-journal.org/media/articles/11833.pdf, (Accessed: 14.05.2025) (In Russian).

Tsenjarik, M.K., Krylova, Yu.V., and Steshenko, V.I. (2020). Digital transformation of companies: strategic analysis, influencing factors, and models [Tsifrovaya transformatsiya kompaniy: strategicheskiy analiz, faktory vliyaniya i modeli]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, vol. 36, iss. 3, pp. 390–420 (In Russian).

Digitalization: What is it and what impact does it have on business [Tsifrovizatsiya: chto eto i kakoye vliyaniye okazyvayet na biznes], (Online), URL: https://iflex.ru/blog/cifrovizaciya-chto-ehto-i-kakoe-vliyanie-okazyvaet-na-biznes/, (Accessed: 14.05.2026) (In Russian).

Cherkasova, V.A. and Slepushenko, G.A. (2021). The Impact of Business Digitalization on the Financial Performance of Russian Companies [Vliyaniye tsifrovizatsii biznesa na finansovyye pokazateli rossiyskikh kompaniy]. *Finansy: teoriya i praktika = Finance: Theory and Practice*, vol. 25, no. 2, pp. 128–142 (In Russian).

Информация об авторах | Information about the authors

Касаева Тамара Васильевна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: kasaevatv@mail.ru

Конюшко Евгения Сергеевна
Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: zhenya.konushcko@gmail.com

Жихар Юлия Юрьевна
Магистрант кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: yuliya.zhihar07@gmail.com

Tamara V. Kasayeva
Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: kasaevatv@mail.ru

Yauheniya S. Koniushka
Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: zhenya.konushcko@gmail.com

Yulia Yu. Zhikhar
Master's Student at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: yuliya.zhihar07@gmail.com

УДК 331.5:378.1 DOI: https://doi.org/10.24412/2079-7958-2026-2-110-124

Модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте

С. О. Горовой *Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь*

Аннотация. Актуальность исследования, с одной стороны, обусловлена тем, что в постоянно меняющихся условиях рынка труда первоочередной задачей учреждений высшего образования является не только необходимость обеспечения качественной профессиональной подготовки выпускников, но и их устойчивое закрепление на рабочем месте, особенно на начальных этапах карьеры. Кроме того, в учреждениях высшего образования Республики Беларусь трудоустраиваемость выпускников выступает одним из критериев попадания в международный рейтинг образовательных учреждений[1]. С другой стороны, многие выпускники сталкиваются с трудностями при трудоустройстве, адаптации и социализации на первом рабочем месте, что в дальнейшем обусловливает появление несоответствий полученной квалификации и выполняемой работы, навыков выпускников и требований работодателей; высокий уровень текучести кадров среди молодежи. Все это вызывает необходимость создания новых подходов и инструментов для исследования и управления процессами закрепляемости выпускников.

Цель исследования – разработать модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте, основанную на интеграции различных источников информации о трудоустройстве выпускников (исследование трудоустройства выпускников, экспертный опрос нанимателей, онлайн-источники) и объединении усилий всех заинтересованных сторон (абитуриентов, выпускников, учреждений высшего образования, организаций-заказчиков кадров, органов государственного управления в сфере занятости и образования), а также практические рекомендации по ее реализации.

Объект исследования – выпускники учреждения образования «Витебский государственный технологический университет».

В статье представлена авторская модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте, формирование которой основано на отдельных результатах исследования трудоустройства выпускников (на примере выпускников Витебского государственного технологического университета дневной формы обучения 2023 года выпуска, 73 респондента), экспертного опроса организаций-заказчиков кадров (на примере 45 организаций Витебской области), исследования рынка труда молодежи по данным онлайн-источников. Разработанная модель имеет практическую значимость для выпускников, молодых работников, организаций-заказчиков кадров, региональных служб занятости, учреждений высшего образования.

Ключевые слова: выпускники, закрепляемость, учреждения высшего образования, востребованные навыки, переход от учебы к работе.

Информация о статье: поступила 8 мая 2026 года.

Статья подготовлена по материалам доклада 59-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, которая состоялась 15–16 апреля 2026 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

A model for the retention of graduates of higher education institutions at the first workplace

Stanislav O. Gorovoy *Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus*

Abstract. Changing conditions of the labor market affect the primary goal of higher education institutions which is not only the need to ensure high-quality professional training of graduates, but also to support their sustainable retention

[1] Лучшие университеты в регионе Беларусь. – 2026 // Юниранкс. URL: https://www.uniranks.com/ranking/ru/%D0 %B1%D0%B5%D0%BB%D0%B0%D1%80%D1%83%D1%81%D1%8C (дата обращения: 25.04.2026).

in the workplace. This is especially true for graduates at the initial stages of their careers. In addition, for many higher education institutions of the Republic of Belarus the employability of graduates is one of the criteria for inclusion in the international rankings. On the other hand, many graduates today face difficulties at the stage of job placement, adaptation, and socialization at their first workplace, which subsequently leads to qualification and skills mismatches, and a high turnover rate among young people. All this necessitates the creation of new approaches and tools for analyzing and managing graduate retention processes.

The purpose of the study is to develop, for higher education institutions, a model of graduate retention at their first job, based on the integration of different information sources of graduate employment (a study of the graduate employment, an expert survey of organizations, and online sources) and the combined efforts of all stakeholders (graduates, higher education institutions, organizations, and government bodies in employment and education), as well as practical recommendations for its implementation.

The object of the study is graduates of Vitebsk State Technological University.

The article presents the author's retention model of graduates of higher education institutions at their first job, which is based on results of a 2023 study of the graduate employment (a case study of full-time graduates of Vitebsk State Technological University), an expert survey of organizations (case study of 45 organizations in the Vitebsk region), and results of an investigation of the youth labor market based on online sources. The developed model has practical significance for graduates, young employees, organizations, regional employment centers, and higher education institutions.

Keywords: graduates, retention, higher education institutions, in-demand skills, school-to-work transition.

Article info: received May 5, 2026.

The article summarizes the research materials presented at the 59th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students, held on April 15–16, 2026 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Несмотря на повышенное внимание к трудоустраиваемости выпускников учреждений образования на рабочем месте со стороны органов государственного управления[2, 3, 4], наличие ряда авторских исследований (Шваякова, 2025; Морозова, 2025; Галич, 2022; Нурилова, 2023; Субботина, 2023; Петров [и др.], 2025; Никулина, 2023) и отдельных положений в нормативно-правовых актах Республики Беларусь, связанных с молодежной политикой и образованием[5], единого определения понятия «закрепляемость выпускников» в настоящее время не выработано. Большинство существующих в литературе определений (Шваякова, 2025; Морозова, 2025; Галич, 2022) сводится к пониманию закрепляемости как периода работы выпускника после срока обязательной отработки по распределению, что актуально только для обучающихся на бюджетной форме получения образования. Обобщение различных теоретических подходов позволило выделить в закрепляемости выпускников 4 основные составляющие:

1) период работы выпускника – длительность от момента трудоустройства до увольнения в конкретной организации (Нурилова, 2023; Субботина, 2023),

2) продолжительность работы выпускника после завершения обязательного периода работ по распределе-

[2] Министерство образования Республики Беларусь, Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь, региональные комитеты по труду при исполнительных комитетах.

[3] Вопрос закрепляемости на первом рабочем месте выпускников рассмотрели на заседании коллегии Комитета государственного контроля. URL: https://www.osh.by/?p=126941 (дата обращения: 25.04.2026).

[4] Закрепляемость, карьера, признание. В Беларуси могут создать целостную систему работы с молодыми специалистами. URL: https://www.sb.by/ articles/ministerstvo-obrazovaniya-predlagaet-sozdat-tselostnuyu-sistemu-raboty-s-molodymi-spetsialistami.html (дата обращения: 26.04.2026).

[5] Кодекс Республики Беларусь об образовании (в редакции Закона Республики Беларусь № 110-З от 9 декабря 2025 г.), Постановление Совета министров Республики Беларусь № 699 от 2 декабря 2025 г. «О Государственной программе «Сбалансированный рынок труда» на 2026–2030 годы», Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 349 от 19 июня 2021 г. «О стратегии развития государственной молодежной политики Республики Беларусь до 2030 года», Положение о порядке распределения, перераспределения, направления на работу, перенаправления на работу, предоставления места работы выпускникам, получившим научно-ориентированное, высшее, среднее специальное или профессионально-техническое образование: утв. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь 31.08.2022 № 572: (в ред. постановления Совмина от 28.06.2023 № 421).

нию (Шваякова, 2025; Морозова, 2025),

3) период трудоустройства (Галич, 2022),

4) причины увольнения (Никулина, 2023; Петров [и др.], 2025).

Анализ существующих подходов позволил сформулировать авторское определение: «закрепляемость выпускника на первом рабочем месте – это условный показатель, который отражает насколько быстро выпускник учреждения образования нашел работу, успешно трудоустроился на рабочем месте и остался на нем работать на основе заключения 2-го трудового договора (контракта) вне зависимости от срока обязательного распределения (перераспределения)». Следовательно, в такой трактовке закрепляемость выпускника характеризует период поиска работы, скорость его перехода от учебы к работе, фактическое трудоустройство в рамках определенной должности, соответствие полученного образования, квалификации, специальности и навыков требованиям рабочего места, что в совокупности отражает эффективность перехода от учебы к работе.

Для понимания и последующей оценки закрепляемости выпускников необходимо наличие информации о востребованных навыках, специальностях и профессиях молодежи на рынке труда, скорости, периоде и факторах эффективного перехода от учебы к работе, карьерных перспективах, др. Поскольку в официальной статистической информации[6] содержатся данные только о количестве трудоустроенных выпускников в рамках обязательного распределения и соответствии полученной квалификации выполняемой работе, предлагается 3 дополнительных источника информации для оценки закрепляемости выпускников.

1. Опрос выпускников по специальной анкете (Ванкевич и Горовой, 2022), апробация которого проведена на примере выпускников дневной формы обучения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» за 2023 год – 3 волны опроса: через 6, 9, 12 месяцев после завершения обучения (73 респондента, охват – 41,5 %).

2. Методический подход к оценке конъюнктуры рынка труда молодежи по данным онлайн-источников (Горовой, 2025а) – извлечение и анализ вакансий и резюме молодежи из открытых онлайн-источников, который позволяет установить наиболее востребованные навыки и их эффективные сочетания для молодежи в вакансиях, избыточные и дефицитные профессии и навыки для молодежи, др., апробация которого осуществлена в рамках проекта БРФФИ «Теоретические подходы и методическое обеспечение анализа рынка труда в Республике Беларусь с применением больших данных» по договору № Г24-013 от 02.05.2024 г.) (источник данных – онлайн-агрегатор вакансий «belmeta.com», из которого извлечено 2720 вакансий и 10 000 резюме для молодежи за 2020–2024 гг.).

3. Экспертный опрос организаций-заказчиков кадров (Кошевой, Голосова и Сеидов, 2012; Попова, Котлярова, О. и Котлярова, Л.; 2014) проводится по специально разработанной анкете среди организаций-заказчиков кадров и позволяет установить реальные требования к выпускникам со стороны нанимателей: опыту работу, уровню подготовки, знаниям и навыкам, др. (на примере опроса 45 организаций-заказчиков кадров Витебской области).

Апробация данных инструментов позволила установить комплекс востребованных на рынке труда молодежи навыков, способствующих эффективному переходу от учебы к работе и выделить факторы, которые содействуют трудоустройству выпускников; разработать модель закрепляемости выпускников на первом рабочем месте, основанную на апробации методики исследования трудоустройства выпускников, опросе нанимателей и данных онлайн-источников;

Это в совокупности обусловило постановку цели исследования – разработать модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте, основанную на интеграции различных источников информации о трудоустройстве выпускников (исследование трудоустройства выпускников, экспертный опрос нанимателей, онлайн-источники) и объединении усилий всех заинтересованных сторон (выпускников, учреждений высшего образования, организаций-заказчиков кадров, органов государственного управления в сфере занятости и образования), а также практические рекомендации по ее реализации.

Методы и средства исследований

Теоретической основной исследования выступили работы отечественных и зарубежных авторов по проблемам занятости и трудоустройства выпускников

[6] Выборочные обследования домашних хозяйств по вопросам занятости населения // Национальный статистический комитет Республики Беларусь. URL: https://www.belstat.gov.by/informatsiya-dlya-respondenta/vyborochnye-obsledovaniya/vyborochnoe-obsledovanie-domashnikh-khozyaystv-v-tselyakh-izucheniya-problem-zanya tosti-naseleniya/ (дата обращения: 29.04.2026).

(Шваякова, 2025; Морозова, 2025; Галич, 2022; Нурилова, 2023; Субботина, 2023; Петров [и др.], 2025; Никулина, 2023; Ванкевич и Горовой, 2022, Горовой, 2025a; Горовой, 2025b; Мальцева и Шабалин, 2021; Топильская и Рощин, 2023), исследования о направлениях согласования рынка труда и рынка образовательных услуг (Варшавская и Котырло, 2019; Лазарев, Пирогова и Заболотникова, 2018; Морозова, 2023; Федоляк, 2018; Ванкевич, Коробова, Шарстнёв и Войтеховская, 2010; Рудаков и Рощин, 2019; Чередниченко, 2020), Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 699 от 2 декабря 2025 г. «О Государственной программе «Сбалансированный рынок труда» на 2026–2030 годы»[7], Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 349 от 19 июня 2021 г. «О стратегии развития государственной молодежной политики Республики Беларусь до 2030 года»[8], нормативно-правовые акты Республики Беларусь в сфере образования (Кодекс Республики Беларусь об образовании в редакции Закона Республики Беларусь № 110-З от 9 декабря 2025 г.[9], Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 572 от 31 августа 2022 г. «О вопросах реализации образовательных программ»[10], Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 572 от 31.08.2022 г. «Положение о порядке распределения, перераспределения, направления на работу, перенаправления на работу, предоставления места работы выпускникам, получившим научно-ориентированное, высшее, среднее специальное или профессионально-техническое образование»[11], комментарии представителей органов государственного управления о закрепляемости выпускников на рабочих местах в средствах массовой информации[12, 13] и открытые онлайн-ресурсы[14].

Эмпирической базой исследования являются данные авторского исследования трудоустройства выпускников Витебского государственного технологического университета дневной формы обучения 2023 года выпуска (73 респондента), экспертного опроса 45 организаций-заказчиков кадров, онлайн-портала «belmeta.com» (2720 вакансий и 10000 резюме молодежи), Национального статистического комитета Республики Беларусь.

Методы исследования: исторический и логический методы, анализ и синтез, методы сравнения, методы группировки, опрос.

Результаты исследований

Исследования и практика показывают, что низкая закрепляемость выпускников – это системная проблема, которая зависит от комплексного влияния различных факторов, которые можно разделить на несколько групп: личностно-мотивационные, организационные, макроэкономические и образовательные.

К личностно-мотивационным факторам следует отнести:

– необъективную оценку востребованности профессий на рынке труда: значительная часть абитуриентов выбирает специальность неосознанно – по совету родителей, друзей, рекламе на сайте или социальных сетях учреждения образования, др. – без анализа реальной ситуации на рынке труда. Например, по данным РАНХиГС[15], только у половины обучающихся в колледжах был интерес к получаемой специальности, а в промышленности 60 % молодых сотрудников увольняются именно из-за этого разрыва между мотивационными ожиданиями и реальным рабочим местом[16, 17];

– отсутствие качественной профориентации приводит к тому, что выпускник оказывается в профессии, которая ему изначально неинтересна, и он не видит смысла в ней оставаться.

[7] URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=C22500699 (дата обращения: 04.05.2026).

[8] URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100349 (дата обращения: 05.05.2026).

[9] URL: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk1100243 (дата обращения: 05.05.2026).

[10] URL: https://etalonline.by/document/?regnum=c22200572 (дата обращения: 06.05.2026).

[11] URL: https://bsu.by/upload/All_units/Polozhenie-o-poryadke-raspredeleniya.pdf (дата обращения: 06.05.2026).

[12] Вопрос закрепляемости на первом рабочем месте выпускников рассмотрели на заседании коллегии Комитета государственного контроля. URL: https://www.osh.by/?p=126941 (дата обращения: 25.04.2026).

[13] Закрепляемость, карьера, признание. В Беларуси могут создать целостную систему работы с молодыми специалистами. URL: https://www.sb.by/ articles/ministerstvo-obrazovaniya-predlagaet-sozdat-tselostnuyu-sistemu-raboty-s-molodymi-spetsialistami.html (дата обращения: 26.04.2026).

[14] Учебный центр «Кадры». URL: https://profkadr.by/ (дата обращения: 20.05.2026).

[15] Где ваши руки: выпускники колледжей не закрывают дефицит рабочих кадров. URL: https://iz.ru/1956640/valeri ia-mishina-iana-shturma/gde-vashi-ruki-vypuskniki-kolledzhei-ne-zakryvaiut-defitcit-rabochikh-kadrov (дата обращения: 24.05.2026).

[16] Молодые сотрудники массово увольняются с российских заводов. URL: https://abnews.ru/news/2025/10/6/ molodye-sotrudniki-massovo-uvolnyayutsya-s-rossijskih-zavodov (дата обращения: 25.05.2026).

[17] Российским компаниям стало трудно удерживать одну категорию работников. URL: https://lenta.ru/news/2025/ 10/06/rossiyskim-kompaniyam-stalo-trudno-uderzhivat-odnu-kategoriyu-rabotnikov/ (дата обращения: 24.05.2026).

К организационным факторам следует отнести:

– слабую адаптацию и формальное наставничество: многие организации не уделяют должного внимания адаптации новичков, а институт наставничества часто существует лишь на бумаге и не помогает молодому специалисту должным образом закрепиться на рабочем месте[18];

– неприемлемые условия труда: зачастую выпускники сталкиваются с плохими условиями труда, чрезмерной нагрузкой, социальной напряженностью в коллективе, недостаточной оплатой труда, и как следствие, профессиональным выгоранием на ранней стадии карьеры;

– отсутствие доступного и комфортного жилья становится непреодолимым барьером для закрепления, особенно в регионах и сельской местности[19].

К макроэкономическим факторам следует отнести:

– дисбаланс спроса и предложения на рынке труда, вследствие чего выпускники работают не по специальности, а государственные инвестиции в их обучение оказываются неэффективными[20];

– миграция молодежи: от 30 до 40 % выпускников колледжей и вузов покидают регионы, в которых они проходили обучение, и уезжают в более перспективные области[21];

– сохранение стереотипов о низком престиже рабочих профессий, в то время как они востребованы в национальной экономике.

К образовательным факторам следует отнести:

– наличие разрыва между теорией и практикой: образовательные программы часто отстают от запросов рынка, а обучение носит слишком теоретический характер, вследствие чего выпускники не обладают практическими навыками, необходимыми работодателю[22];

– быстрое устаревание образовательных курсов и программ, обучение неактуальным знаниям и навыкам, др.

Результаты ряда мониторинговых исследований (НИУ ВШЭ, РАНХиГС, Росстат)[23, 24, 25] свидетельствуют о системном дисбалансе между формальными показателями трудоустройства и реальной закрепляемостью выпускников на рабочих местах. Например, спустя год после выпуска по специальности трудоустраиваются около 50–60 % специалистов с высшим образованием и только 30–55 % выпускников системы среднего и профессионально-технического образования. Все это подтверждает факт достаточно низкого уровня закрепления молодых специалистов на рабочих местах.

В результате апробации методики исследования трудоустройства выпускников на примере выпускников учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» 2023 года выпуска основными причинами невысокого уровня закрепляемости определены (таблица 1): недостаточность или отсутствие опыта работы, несоответствие полученных навыков и требований нанимателей, низкая удовлетворенность работой, невысокий уровень оплаты труда, нехватка надпрофессиональных и цифровых навыков, отсутствие видимых карьерных перспектив.

Выявленные причины обусловили быструю смену места работы выпускника.

Апробация методики ИТВ на примере выпускников учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» (73 респондента) позволила определить факторы эффективного перехода от учебы к работе:

1) выбор востребованной рынком труда специальности: экономические специальности (средняя оценка респондентов 4,53 балла по 5-тибалльной шкале), специальности дизайна (4,18 балла) и ИТ-профиля (4,16 балла);

2) совмещение учебы и работы, наличие трудового стажа (отметили 54,39 % респондентов);

[18] Закрепляемость, карьера, признание. В Беларуси могут создать целостную систему работы с молодыми специалистами. URL: https://www.sb.by/articles/ministerstvo-obrazovaniya-predlagaet-sozdat-tselostnuyu-sistemu-raboty-s-molodymi-spetsialistami.html (дата обращения: 25.05.2026).

[19] Там же.

[20] 5 главных проблем в системе высшего образования Республики Беларусь. URL: https://profkult-grodno.by/aleksandr-lukashenko-nazval-pyat-glavnyh-problem-v-sisteme-vysshego-obrazovaniya-i-zhdet-ih-resheniya/ (дата обращения: 26.05.2026).

[21] Где ваши руки: выпускники колледжей не закрывают дефицит рабочих кадров. URL: https://iz.ru/1956640/valeriia-mishina-i-ana-shturma/gde-vashi-ruki-vypuskniki-kolledzhei-ne-zakryvaiut-defitcit-rabochikh-kadrov (дата обращения: 24.05.2026).

[22] Сито для талантов: как система теряет кадры на пути к технологическому лидерству // Вести образования. URL: https://edition.vogazeta.ru/articles/2025/10/7/economics/26675 (дата обращения: 27.05.2026).

[23] НИУ «Высшая школа экономики» (ВШЭ). URL: https://www.hse.ru/ (дата обращения: 28.05.2026).

[24] РАНХиГС. URL: https://www.ranepa.ru/ (дата обращения: 28.05.2026).

[25] Росстат. URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения: 28.05.2026).

Таблица 1 – Причины невысокого уровня закрепления выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте (по данным исследования трудоустройства выпускников)
Table 1 – Reasons for the low retention rate of graduates of higher education institutions in their first job (according to the data of the graduate employment research)

Причина	Характеристика
1. Невысокий уровень оплаты труда	Установлено, что в целом уровень оплаты труда среди выпускников невысокий. Наиболее низкий уровень оплаты труда характерен для выпускников экономических и технологических специальностей, наиболее высокий – по специальностям дизайна и ИТ-специальностям
2. Несоответствие рабочего места ожиданиям выпускника	2.1 Условия труда – в большинстве случаев фактические условия труда не соответствуют заявленным в описаниях вакансий для молодежи (или рабочему месту, предоставленному в качестве распределения) 2.2 Трудовая адаптация и социализация молодежи затруднена в силу отсутствия опыта работы и нежелания работодателей оказывать поддержку молодому специалисту на старте карьеры 2.3 Отсутствие видимых карьерных перспектив: по данным ИТВ из-за низкой удовлетворенности работой и отсутствии четких перспектив карьерного развития большинство выпускников планирует изменить свою занятость в течение следующих 2-х лет для обеспечения карьерного роста
3. Несоответствия навыков требованиям рабочего места	3.1 Отсутствие опыта работы, знания структуры и культуры организации 3.2 Нехватка надпрофессиональных навыков. По данным ИТВ наиболее востребованной на рабочем месте группой навыков стали надпрофессиональные навыки (навыки эффективного мышления и дисциплина, лидерство и командообразование, коммуникативные навыки), которые обеспечили выпускникам наиболее эффективное трудоустройство 3.3 Нехватка цифровых навыков (аналитика данных, цифровой дизайн и визуализация данных, цифровой бизнес-анализ) 3.4 Невостребованность части полученных навыков на конкретном рабочем месте и невысокий уровень удовлетворенности обучением, что обусловливает желание молодого человека не оставаться на текущем рабочем месте и сменить свою карьерную траекторию

Источник: составлено автором.

3) высокий уровень удовлетворенности обучением в учреждении образования (58,77 % респондентов оценили в среднем на 4,5 балла по 5-тибалльной шкале);

4) наличие востребованных надпрофессиональных навыков: дисциплина (11,75 % от общего числа ответов респондентов), ответственность (10,18 %), организованность (9,65 %), коммуникабельность (7,72 %), многозадачность (7,37 %). Группировка навыков в соответствии с авторским подходом показывает, что наиболее востребованными группами навыков из категории надпрофессиональных являются навыки эффективного мышления (44,21 %) и дисциплина (34,56 %).

5) наличие отдельных навыков из группы цифровых: аналитика данных (27,37 % от общего числа ответов респондентов), инжиниринг бизнес-процессов (19,12 %), цифровой дизайн и визуализация данных (15,09 %), цифровой бизнес-анализ (12,28 %);

6) видение перспектив карьерного роста и профессионального продвижения (35,09 % респондентов высказали мнение о желании остаться в организации в связи с возможностями дальнейшего продвижения или карьерного роста);

Таким образом, результаты исследования трудоустройства выпускников определили первую задачу в обеспечении закрепляемости – необходимость фор-

мирования конкурентоспособного выпускника с востребованным на рынке труда набором навыков и характеристиками, способствующими эффективному переходу от учебы к работе (наличие опыта работы, совмещение учебы и работы, др.).

Результаты экспертного опроса 45 организаций Витебской области позволили установить факторы профессиональной подготовки со стороны нанимателей:

1) наиболее эффективные способы трудоустройства выпускника, повышающие вероятность его закрепляемости на рабочем месте – размещение вакансий на негосударственных онлайн-порталах вакансий (22,2 % ответов респондентов), распределение выпускников (17,8 %), прямой контакт с учреждениями образования (17,8 %), через практику (стажировку) студентов (15,6 %), ярмарка вакансий (15,6%);

2) необходимо наличие опыта работы, в т. ч. не по специальности (77,78 % ответов респондентов);

3) необходимо наличие конкретных профессиональных навыков (они определены в описаниях вакансий, востребованы предприятиями и хорошо оплачиваются) (42,2 % ответов респондентов);

4) необходимо владение отдельными навыками из группы надпрофессиональных (ответственность (28,89 % от общего числа ответов респондентов[26]), дисциплина (19,11 %), умение работать в команде (13,33 %), умение решать сложные задачи (11,11 %), трудовая этика (8,89 %)) совместно с востребованными цифровыми навыками (цифровой бизнес-анализ (35,11 % от общего числа ответов респондентов[27]), инжиниринг бизнес-процессов (24,89 %), цифровой маркетинг (19,56 %)).

Анализ мнений респондентов позволяет сделать вывод о низком уровне закрепляемости молодых сотрудников на рабочих местах. Так, 40 % респондентов считает, что в организации остается около половины молодых сотрудников, 28,9 % – остаются только некоторые, 11,1 % – никто не остается. Большинство респондентов (71,1 %) отметили, что молодые сотрудники из числа выпускников учреждений образования остаются работать только на срок от 1 до 2 лет (характерно для 100 % респондентов из числа государственных организаций, что объясняется обязательным сроком распределения выпускников учреждений образования); 28,9 % высказали мнение, что выпускники остаются не более чем на 1 год. Это подчеркивает низкую закрепляемость выпускников на первом рабочем месте и характерной краткосрочной занятости.

Эта информация направлена на реализацию второй задачи по закрепляемости выпускников – формирование объективной потребности в рабочих местах для молодежи на основе четкого понимания требуемых навыков и сотрудничества с учреждениями высшего образования с ранних курсов.

В результате анализа рынка труда молодежи по данным онлайн-источников извлечены 2720 вакансий, на основе которых определены:

1) наиболее перспективные профессии для трудоустройства молодежи: профессии с дефицитом соискателей (инженер, аналитик данных, инженер DevOps) и профессии с относительным балансом спроса и предложения (UI/UX дизайнер);

2) наиболее доступные профессии с точки зрения опыта работы: профессии с относительно высокой доступностью[28] (менеджер по продажам (22,8 % от общего числа вакансий для молодежи), UI/UX дизайнер (18,7 %), маркетолог (15,2 %)) и профессии со средней доступностью (ИТ-специалист (12,5 %), аналитик данных (11,3 %), бухгалтер (10,5 %)).

Также установлено, что работодатели, как правило, ищут не отдельные навыки, а сочетания определенных наборов взаимодополняемых навыков. Например, сочетание навыков программирования и экономического анализа данных (частота упоминания в вакансиях – 82,5 %), умений вести бухгалтерскую отчетность и навыков работы в «1С» (78,5 %), умений работать с различными языками программирования (JavaScript + HTML/CSS + React/Angular + Git) (75,3 %), управленческих компетенций, навыков проектного управления, лидерских и коммуникативных качеств (72,1 %); технических навыков и знания иностранных языков (70,2 %), навыков аналитического мышления и навыков презентации (68,7 %), SEO-, SMM-анализа и таргетированной рекламы (65,8 %), навыков делового общения со знанием иностранных языков (62,3 %).

Полученные результаты анализа рынка труда молодежи по данным онлайн-источников составляют основу третьей задачи для обеспечения закрепляемости, кото-

[26] Респондентам было предложено выбрать 5 наиболее значимых навыков, т.е. общее количество ответов составило 225.

[27] Количество ответов респондентов – 225.

[28] На основе расчета удельного веса вакансий по опыту работы как отношение количества вакансий i-ой профессии для молодежи без опыта работы и с опытом работы от 1 до 3-х лет, к общему количеству вакансий по i-ой профессии для молодежи.

рая заключается в подготовке молодежи по профессиям и навыкам, соответствующим современным запросам рынка труда.

На основе выявленных причин низкой закрепляемости выпускников на рынке труда молодежи Республики Беларусь, данных исследования трудоустройства выпускников, экспертного опроса отдельных предприятий Витебской области, онлайн-источников определены факторы, обеспечивающие закрепляемость выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте (таблица 2).

Обобщение полученных результатов позволило составить комплексную модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте (рисунок 1), новизна которой состоит в следующем:

1) сочетании факторов эффективного перехода от учебы к работе на основе различных баз данных (исследования трудоустройства выпускников, онлайн-источников, опроса нанимателей) для установления, анализа и комплексного понимания факторов и причин низкой закрепляемости выпускников;

Таблица 2 – Факторы, обеспечивающие закрепляемость выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте

Table 2 – Factors ensuring the graduate retention of higher education institutions in their first job

Факторы эффективного перехода от учебы к работе		
по данным исследования трудоустройства выпускников	**по данным опроса организаций-заказчиков кадров**	**по данным онлайн-источников**
1) выбор востребованной рынком труда специальности; 2) совмещение учебы и работы, наличие трудового стажа; 3) высокий уровень удовлетворенности обучением в учреждении образования; 4) наличие востребованных надпрофессиональных навыков; 5) наличие цифровых навыков; 6) видение перспектив карьерного роста и профессионального продвижения	1) наиболее эффективные способы трудоустройства выпускника (размещение вакансий на негосударственных онлайн-порталах вакансий, распределение, прямой контакт с учреждениями образования, практика/стажировка студентов, ярмарка вакансий учреждением образования); 2) наличие опыта работы; 3) наличие профессиональных навыков; 4) наличие отдельных надпрофессиональных навыков (ответственность, дисциплина, умение работать в команде, умение решать сложные задачи, трудовая этика) совместно с цифровыми (цифровой бизнес-анализ, инжиниринг бизнес-процессов, цифровой маркетинг); 5) знание конкретной организации и специфики вида деятельности	1) наиболее перспективные профессии для трудоустройства молодежи: аналитик данных, инженер DevOps, UI/UX дизайнер; 2) наиболее доступные профессии с точки зрения опыта работы: менеджер по продажам, UI/UX дизайнер, маркетолог, профессии со средней доступностью: IT-специалист, аналитик данных, бухгалтер; 3) необходимость сочетания определенных наборов взаимодополняемых навыков
формирование конкурентоспособного выпускника с востребованным на рынке труда набором навыков и характеристиками, способствующими эффективному переходу от учебы к работе (наличие опыта работы, совмещение учебы и работы, др.)	формирование объективной потребности в рабочих местах для молодежи на основе четкого понимания требуемых навыков, реализации современных технологий кадровой работы по отношению к молодежи (адаптация, управление карьерой), а также сотрудничества с УВО	формирование объективной потребности в профессиях и навыках молодежи, соответствующей современным условиям рынка труда молодежи, обеспечение эффективного и быстрого переход от учебы к работе, достижение соответствия навыков, заработной платы, мотивационных ожиданий выпускника

Источник: авторская разработка.

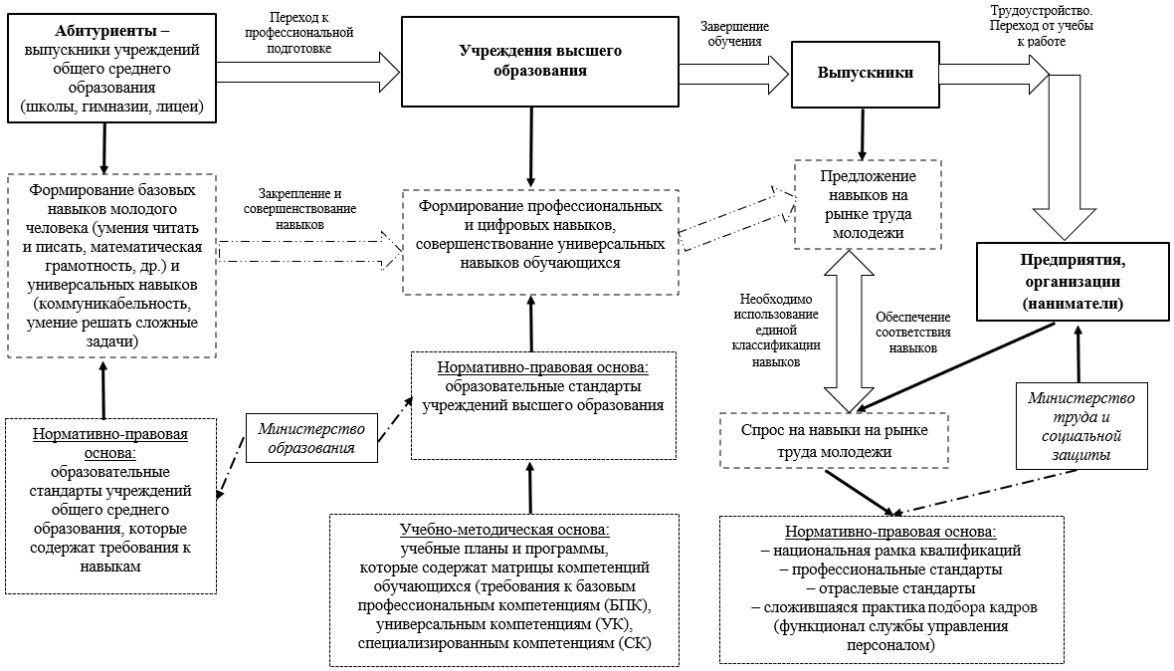


Рисунок 1 – Модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте

Figure 1 – Graduate retention model of higher education institutions in their first job

2) определении навыков с разных сторон – с точки зрения нанимателей и выпускников;

3) сочетании усилий абитуриентов, учреждений высшего образования, выпускников, нанимателей и органов государственного управления в сфере занятости и образования (Министерство образования Республики Беларусь, Министерство труда и социальной защиты Республики Беларусь).

Следовательно, главная цель модели закрепляемости – обеспечить трудоустройство выпускника на рабочем месте, соответствующее его специальности, квалификации, навыкам, интересам и мотивационным ожиданиям на срок более двух лет.

Таким образом, реализация предложенной модели закрепляемости выпускников учреждений высшего образования на первом рабочем месте обеспечит:

1) эффективный и быстрый переход от учебы к работе, что может выражаться в снижении периода поиска работы;

2) достижение соответствия:

– навыков (профессиональных, надпрофессиональных и цифровых) – имеющихся у выпускников и требуемых со стороны работодателей,

– заработной платы – ожидаемой и мотивирующей для выпускника и фактически предлагаемой на рабочем месте,

– мотивационных ожиданий при вступлении на рабочее место и реальных карьерных перспектив выпускника;

3) реализацию современных технологий кадровой работы по отношению к молодежи в организациях-заказчиков кадров и потенциальное снижение текучести кадров среди молодежи.

Анализ полученных результатов

Разработанная модель закрепляемости выпускников предполагает активное взаимодействие 4-х ключевых субъектов рынка труда молодежи: самих выпускников (молодых специалистов, молодых работников), организаций-заказчиков кадров, учреждений высшего образования, государственных органов в сфере занятости и образования. Поэтому целесообразным представляется разработать практические рекомендации для каждо-

го субъекта.

Для лучшего закрепления выпускникам на рынке труда необходимы:

1) наличие опыта работы: выпускники с уже имеющимся опытом работы быстрее находили и адаптировались на первом рабочем месте (по данным исследования трудоустройства выпускников);

2) совмещение обучения в учреждениях высшего образования с работой (по результатам исследования трудоустройства выпускников большинство выпускников совмещали учебу в университете с работой, что обусловило наиболее эффективную занятость для них после окончания учреждения высшего образования);

3) знание рынка труда и требований работодателей: умение анализировать вакансии из открытых онлайн-ресурсов и степень соответствия своих навыков указанным требованиям работодателей;

4) предварительное изучение организации: понимание организационной структуры управления и корпоративной культуры организации позволяет быстрее адаптироваться на рабочем месте, установить формальные и неформальные отношения с руководством и коллегами в более короткий срок;

5) востребованные навыки: выпускник должен обладать не только профессиональными навыками по специальности, но и надпрофессиональными (навыки эффективного мышления, дисциплины, коммуникативные и лидерские навыки), и цифровыми навыками (аналитика данных, инжиниринг бизнес-процессов, цифровой дизайн и визуализация данных, цифровой бизнес-анализ);

6) развивать навыки трудоустраиваемости:

– навыки поиска вакансий и использования онлайн-ресурсов: умение искать вакансии на специализированных сайтах, в социальных сетях, знание платформ и инструментов для поиска работы (например, «gsz.gov.by», «rabota.by», «praca.by»), способность анализировать и выбирать подходящие вакансии по установленным критериям,

– навыки подготовки профессиональных документов: создание и рассылка резюме, сопроводительных писем в организации, ведение профессиональных страниц в социальных сетях, подготовка портфолио,

– коммуникативные навыки и навыки самопрезентации: умение уверенно и четко рассказывать о себе, своих достижениях, демонстрировать владение навыками в решении конкретных профессиональных задач, навыками ведения деловой беседы и установления контакта с работодателем;

– навыки прохождения собеседований: подготовка к стандартным вопросам, умение структурировать свои ответы, способность отвечать на вопросы собеседования в условиях повышенного стресса, демонстрировать заинтересованность и мотивацию,

– навыки самоуправления и мотивации: умение планировать время, устанавливать цели и соблюдать график поиска работы;

7) постоянное обучение и развитие: умение совершенствовать знания и навыки через самостоятельное обучение, курсы повышения квалификации, тренинги, др. – для расширения своих профессиональных возможностей и продвижения по карьере;

8) построение индивидуальной карьерной траектории: выпускник должен формировать собственную карьерную траекторию еще во время обучения в учреждении образования.

В совокупности эти действия будут способствовать повышению эффективности закрепления молодежи на рабочих местах, а также помогут построить долгосрочные профессиональные отношения и сформировать индивидуальную карьерную траекторию, которая способствует росту и развитию молодого специалиста в организации.

К рекомендациям для учреждений высшего образования следует отнести:

1) актуализацию учебных курсов и корректировку учебных планов в части формируемых компетенций (базовых профессиональных (БПК), универсальных (УК) и специализированных (СК)) с учетом реальных требований работодателей к навыкам молодых специалистов;

2) формирование и обеспечение активной деятельности центров развития карьеры выпускников в учреждениях высшего образования (Горовой, 2025b);

3) организацию исследования трудоустройства выпускников на регулярной основе (Горовой, 2025b);

4) разработку программ адаптации выпускников к рынку труда, включающих учет их практического опыта и навыков, сформированных в образовательном процессе в разрезе профилей подготовки;

5) организацию специализированных тренингов по развитию надпрофессиональных и цифровых навыков на последних курсах обучения выпускника;

С учётом полученных результатов исследования и специфики молодежного рынка труда в Республике

Беларусь к мероприятиям со стороны организаций-заказчиков кадров следует отнести:

1) активную интеграцию с учреждениями высшего образования в профориентационной работе, подготовке, стажировке студентов (выпускников);

2) активную кадровую работу с молодыми специалистами посредством реализации функций кадровой службы;

3) формирование объективного описания вакансии – вместо формального списка обязанностей, наличия опыта и образования, публиковать объективные профили должностей, включая конкретные требования к знаниям и навыкам молодого специалиста, возможностям карьерного роста, и отразить реальные цифры по оплате труда. Это поможет согласовать требования нанимателей с трудовыми возможностями выпускников и быстрее привлечь необходимых специалистов;

4) разработку целевых программ стажировок и переобучения для молодежи в период адаптации в разрезе должностей;

5) обеспечение дополнительных стимулирующих выплат в том случае, если молодой специалист планирует закрепиться в организации более чем на 2 года (поскольку основные надбавки и доплаты устанавливаются только молодым специалистам в пределах срока распределения),

6) формирование индивидуальных планов карьеры для молодых специалистов.

С позиции государственных органов управления мерами поддержки закрепления выпускников могут быть:

1) совершенствование информационного сопровождения трудоустройства выпускников посредством внедрения современных форм взаимодействия молодежи и службы занятости – мобильных приложений для трудоустройства и онлайн-платформ по развитию навыков;

2) сопоставление данных о фактическом количестве трудоустроенных выпускников в организациях (в т. ч. по распределению) с данными Общереспубликанского банка вакансий Государственной службы занятости и данными автоматизированной информационной системы «Госзаказ и прием» (о количестве организаций-заказчиков кадров, которые сформировали потребность в найме молодых специалистов);

3) внедрение инструментария исследования трудоустройства и методику анализа рынка труда молодежи по данным онлайн-источников в практику работы Государственной службы занятости для мониторинга занятости выпускников, определения востребованных навыков, факторов, затрудняющих переход от учебы к работе, др.;

4) регулярное размещение на портале Государственной службы занятости аналитической информации о востребованных навыках выпускников, востребованных и высокооплачиваемых профессиях для молодежи, уровне заработной платы по различным должностям, др.;

5) создание условий для трудоустройства выпускников в различных регионах, в т. ч. в сельской местности путем предоставления более высокого уровня заработной платы (выше, чем уровень оплаты труда молодого специалиста, трудоустроенного в городской местности по аналогичной должности), создания инфраструктуры (развитой транспортной сети, логистики, др.), формирования современных площадок для проведения культурно-массовых, социокультурных и спортивных мероприятий;

6) стимулирование и поддержка молодежных стартапов и молодежного предпринимательства (в т. ч. во время обучения в учреждениях высшего образования), что может способствовать созданию новых рабочих мест и повышению занятости молодежи;

7) объединение усилий Министерства труда и социальной защиты, Министерства образования и Министерства экономики в формировании консолидированной статистики по рынку труда молодежи (т. к. многие показатели формируются каждым ведомством отдельно и не отражают объективную и полную ситуацию на рынке труда молодежи Республики Беларусь).

Выводы

Таким образом, для молодого специалиста закрепляемость на первом рабочем месте зависит не только от качества подготовки в учреждении высшего образования и действий работодателя на рынке труда, но и от активности самого выпускника, который должен формировать и развивать свою собственную конкурентоспособность на рынке труда посредством взаимодействия с центром развития карьеры в учреждениях высшего образования. В данном контексте учреждения высшего образования играют ключевую роль в обеспечении качественной подготовки выпускников к карьере и могут напрямую влиять на их успешное закрепление на первом рабочем месте. Для организаций-заказчиков кадров повышение уровня закрепляемости выпускников – это возможность найти высококвалифицирован-

ного молодого специалиста и обеспечить необходимый кадровый резерв, который в последствии может стать ключевым фактором для долгосрочного развития и предотвращения возможной текучести кадров. Главной задачей органов государственного управления в сфере занятости молодежи (региональные комитеты по труду и занятости при областных и городских исполнительных комитетах, НИИ труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь, др.) является необходимость создания условий для успешного закрепления молодых специалистов на рабочем месте, что проявляется не в прямом управлении занятостью молодежи, а в формировании политики, инфраструктуры и стимулов для заинтересованных сторон (учреждений высшего образования, организаций-заказчиков кадров, выпускников).

Следовательно, указанные меры позволят реализовать предлагаемую модель закрепляемости выпускников учреждений высшего образования, повысить эффективность их занятости и трудоустройства, обеспечить успешный переход от учебы к работе, повысить уровень их закрепляемости на первых рабочих местах в долгосрочной перспективе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ванкевич, Е.В. и Горовой, С.О. (2022). Исследование трудоустройства выпускников как дополнительный инструмент оценки востребованных навыков на рынке труда. *Белорусский экономический журнал*, № 2, с. 91–106.

Ванкевич, Е.В., Коробова, Е.Н., Шарстнёв, В.Л. и Войтеховская, И.А. (2010). *Рынок образовательных услуг и рынок труда Республики Беларусь: направления согласования*. Витебск, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

Варшавская, Е.Я. и Котырло, Е.С. (2019). Выпускники инженерно-технических и экономических специальностей: между спросом и предложением. *Вопросы образования*, № 2, с. 98–128.

Галич, Л.П. (2022). Ключевые направления закрепления и профессионального развития молодых кадров: опыт Республики Беларусь. *Государственное управление и государственная служба*, № 3, с. 45–52.

Горовой, С.О. (2025). Анализ рынка труда молодежи с использованием онлайн-источников. *Современные исследования проблем управления кадровыми ресурсами: сборник научных статей X Международной научно-практической конференции*, Москва, 19–21 марта 2025 г. Воронеж: РТУ МИРЭА, Ч. 1, с. 88–93.

Горовой, С.О. (2025). Организационно-методическое обеспечение деятельности центров развития карьеры выпускников в учреждениях высшего образования Республики Беларусь. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 3 (53), с. 113–129.

Кошевой, О.С., Голосова, Е.С. и Сеидов, Ш.Г. (2012). Организация экспертного опроса с привлечением специалистов органов государственного и муниципального управления. *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки*, № 3, с. 84–92.

Лазарев, В.Н., Пирогова, Е.В. и Заболотникова, М.В. (2018). Взаимодействие рынка образовательных услуг и рынка труда: проблемы и перспективы. *Вестник Ульяновского государственного технического университета*, № 1, с. 74–76.

Мальцева, В.А. и Шабалин, А.И. (2021). Нелинейная траектория российского студента: опыт совмещения учебы и работы. *Вопросы образования*, № 4, с. 61–89.

Морозова, Н.Н. (2023). Рынок труда и рынок образовательных услуг в контексте обеспечения экономической безопасности. *Научные труды Белорусского государственного экономического университета*, № 16, с. 284–291.

Морозова, Н.Н. и Воронецкая, Л.Г. (2025). Актуальные аспекты закрепления молодых кадров в организациях Республики Беларусь. *Веснік Беларускага дзяржаўнага эканамічнага ўніверсітэта*, № 4, с. 60–70.

Никулина, Ю.Н. (2023). Карьерное развитие молодежи в экосистеме кадрового партнерства вуза. *Лидерство и менеджмент*, № 10 (2), с. 561–578.

Нурилова, А.З. (2023). Трудоустройство молодого выпускника: проблема и тенденции. *Экономика труда*, № 10 (4), с. 515–528.

Петров, А.А. и др. (2025). Исследование карьерных ожиданий молодых специалистов и их соответствие реалиям рынка труда. *Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены*, № 1, с. 88–104.

Попова, И.В., Котлярова, Л.Д. и Котлярова, О.А. (2014). Оценка качества рабочей силы методом экспертного опроса: региональный аспект. *Вестник Костромского государственного технологического университета. Серия: Экономические науки*, № 1, с. 22–26.

Рудаков, В.Н., Рощин, С.Ю. (2019). Влияние совмещения учебы и работы на заработную плату выпускников вузов. *Вопросы образования*, № 1, с. 59–87.

Субботина, Т.Н., Баранова, Ю.С. и Япрынцева, В.А. (2023). Проблемы трудоустройства студенческой молодёжи и выпускников. *Вестник университета*, № 5, с. 174–181.

Топильская, А.А. и Рощин, С.Ю. (2023). Выход на российский рынок труда выпускников высшего и среднего профессионального образования. *Вопросы статистики*, т. 30, № 2, с. 45–58.

Федоляк, В.С. (2018). Несоответствие рынка образовательных услуг требованиям рынка труда: причины и способы преодоления. *Профессиональная ориентация*, № 2, с. 49–53.

Чередниченко, Г.А. (2020). Образовательные и профессиональные траектории молодежи: от школы к рынку труда. *Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены*, № 3, с. 122–141.

Швайкова, О.В. (2026). *Закрепление молодых специалистов в малых городах и сельской местности как фактор национальной безопасности в условиях цифровой трансформации*, [Online], URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/55038/1/Shvayakova_Consolidation.pdf, (дата обращения: 28.04.2026).

REFERENCES

Vankevich, E.V. and Gorovoj, S.O. (2022). The tracer study of graduates as an additional tool for in-demand skills in the youth labour market analysis [Issledovanie trudoustrojstva vypusknikov kak dopolnitel'nyj instrument ocenki vostrebovannyh navykov na rynke truda]. *Belorusskij ekonomicheskij zhurnal = Belarusian Economic Journa*l, no 2, pp. 91–106 (In Russian).

Vankevich, E.V., Korobova, E.N., Sharstnev, V.L. and Voytekhovskaya, I.A. (2010). *Rynok obrazovatel'nykh uslug i rynok truda Respubliki Belarus': napravleniya soglasovaniya* [The educational services market and the labor market of the Republic of Belarus: areas of coordination]. Vitebsk, Vitebsk State University of Technology, Republic of Belarus (In Russian).

Varshavskaya, E.Ya. and Kotyrlo, E.S. (2019). Graduates of engineering, technology and economics specialties: between demand and supply [Vypuskniki inzhenerno-tekhnicheskikh i ekonomicheskikh spetsialnostey: mezhdu sprosom i predlozheniem]. *Voprosy obrazovaniya = Educational issues*, no. 2, pp. 98–128 (In Russian).

Galich, L.P. (2022). Key directions of retention and professional development of young personnel: the experience of the Republic of Belarus [Klyuchevye napravleniya zakreplyeniya i professionalnogo razvitiya molodykh kadrov: opyt Respubliki Belarus]. *Gosudarstvennoe upravlenie i gosudarstvennaya sluzhba = Public administration and civil service*, no. 3, pp. 45–52 (In Russian).

Gorovoy, S.O. (2025). Analysis of the youth labor market using online sources [Analiz rynka truda molodezhi s ispolzovaniem onlayn-istochnikov]. *Sovremennye issledovaniya problem upravleniya kadrovymi resursami: sbornik nauchnykh statey X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Modern research on human resource management problems: collection of scientific articles of the X International Scientific and Practical Conference*. Moscow, 19–21 March 2025. Voronezh: RTU MIREA, Part 1, pp. 88–93 (In Russian).

Gorovoy, S.O. (2025). Organizational and methodological support of career development centers for graduates in higher educational institutions of the Republic of Belarus [Organizatsionno-metodicheskoe obespechenie deyatel'nosti tsentrov razvitiya kar'ery vypusknikov v uchrezhdeniyakh vysshego obrazovaniya Respubliki Belarus]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, no. 3 (53),

pp. 113–129.

Koshevoy, O.S., Golosova, E.S. and Seidov, Sh.G. (2012). Organization of an expert survey involving specialists from state and municipal government bodies [Organizatsiya ekspertnogo oprosa s privlecheniem spetsialistov organov gosudarstvennogo i munitsipalnogo upravleniya], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Obshchestvennye nauki = Volga Region. Social Sciences*, no. 3, pp. 84–92 (In Russian).

Lazarev, V.N., Pirogova, E.V. and Zabolotnikova, M.V. (2018). Interaction of the educational services market and the labor market: problems and prospects [Vzaimodeystvie rynka obrazovatelnykh uslug i rynka truda: problemy i perspektivy]. *Vestnik Ulyanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University*, no. 1, pp. 74–76 (In Russian).

Malceva, V.A. and Shabalin, A.I. (2021). Non-linear trajectory of the Russian student: experience of combining study and work [Nelinejnaya traektoriya rossijskogo studenta: opyt sovmeshcheniya ucheby i raboty]. *Voprosy obrazovania = Educational Studies Moscow*, no 4, pp. 61–89 (In Russian).

Morozova, N.N. (2023). Labor market and educational services market in the context of ensuring economic security [Rynok truda i rynok obrazovatelnykh uslug v kontekste obespecheniya ekonomicheskoy bezopasnosti]. *Nauchnye trudy Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta = Scientific works of the Belarusian State Economic University*, no. 16, pp. 284–291 (In Russian).

Morozova, N.N. and Voronetskaya, L.G. (2025). Current aspects of young personnel retention in organizations of the Republic of Belarus [Aktualnye aspekty zakreplyeniya molodykh kadrov v organizatsiyakh Respubliki Belarus]. *Vesnik Belaruskaga dzyarzhaynaga ekanamichnaga universiteta = Bulletin of the Belarusian Economic University*, no. 4, pp. 60–70 (In Russian).

Nikulina, Yu.N. (2023). Career development of youth in the ecosystem of university personnel partnership [Kariernoe razvitie molodezhi v ekosisteme kadrovogo partnerstva vuza]. *Liderstvo i menedzhment = Leadership and management*, no. 10 (2), pp. 561–578 (In Russian).

Nurilova, A.Z. (2023). Employment of a young graduate: problem and trends [Trudoustroystvo molodogo vypusknika: problema i tendentsii]. *Ekonomika truda = Labor economics*, no. 10 (4), pp. 515–528 (In Russian).

Petrov, A.A. et al. (2025). Research on career expectations of young specialists and their compliance with labor market realities [Issledovanie kariernykh ozhidaniy molodykh spetsialistov i ikh sootvetstvie realiyam rynka truda]. *Monitoring obshchestvennogo mneniya: ekonomicheskie i sotsialnye peremeny = Monitoring public opinion: economic and social changes*, no. 1, pp. 88–104 (In Russian).

Popova, I.V., Kotlyarova, L.D. and Kotlyarova, O.A. (2014). Assessing labor force quality by expert survey method: regional aspect [Otsenka kachestva rabochey sily metodom ekspertnogo oprosa: regionalnyy aspekt]. *Vestnik Kostromskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Ekonomicheskie nauki = Bulletin of Kostroma State Technological University. Series: Economic Sciences*, no. 1, pp. 22–26 (In Russian).

Rudakov, V.N. and Roshchin, S.Yu. (2019). The impact of combining studies and work on the wages of university graduates [Vliyanie sovmeshcheniya ucheby i raboty na zarabotnuyu platu vypusknikov vuzov]. *Voprosy obrazovania = Educational Studies Moscow*, no 1, pp. 59–87 (In Russian).

Subbotina, T.N., Baranova, Yu.S. and Yapryntseva, V.A. (2023). Problems of employment of student youth and graduates [Problemy trudoustroystva studencheskoy molodezhi i vypusknikov]. *Vestnik universiteta = University Bulletin*, no. 5, pp. 174–181 (In Russian).

Topilskaya, A.A. and Roshchin, S.Yu. (2023). Entering the Russian labor market of graduates of higher and secondary vocational education [Vyhod na rossijskij rynok truda vypusknikov vysshego i srednego professional'nogo obrazovaniya]. *Voprosy statistiki = statistical issues*, vol. 30, no 2, pp. 45–58 (In Russian).

Fedyolyak, V.S. (2018). Mismatch between the educational services market and labor market requirements: causes and ways to overcome [Nesootvetstvie rynka obrazovatelnykh uslug trebovaniyam rynka truda: prichiny i sposoby preodoleniya], *Professionalnaya orientatsiya = Career guidance*, no. 2, pp. 49–53 (In Russian).

Cherednichenko, G.A. (2020). Educational and professional trajectories of youth: from school to the labor market [Obrazovatel'nye i professional'nye traektorii molodezhi: ot shkoly k rynku truda]. *Monitoring obshchestvennogo mneniya:*

ekonomicheskie i social'nye peremeny = Monitoring of Public Opinion: Economic and Social Changes, no 3, pp. 122–141 (In Russian).

Shvayakova, O.V. (2026). *Retention of young specialists in small towns and rural areas as a factor of national security in the context of digital transformation* [Zakreplenie molodykh spetsialistov v malykh gorodakh i selskoy mestnosti kak faktor natsionalnoy bezopasnosti v usloviyakh tsifrovoy transformatsii], [Online], URL: https://libeldoc.bsuir.by/bitstream/123456789/ 55038/1/Shvayakova_Consolidation.pdf, (accessed: 28 April 2026) (In Russian).

Информация об авторах

Горовой Станислав Олегович
Старший преподаватель кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: stanislavgorovoj@gmail.com

Information about the authors

Stanislav O. Gorovoy
Senior Lecturer at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: stanislavgorovoj@gmail.com

1. Научно-технический журнал «Вестник Витебского государственного технологического университета» выходит четыре раза в год.

2. К печати допускаются статьи по трем тематическим направлениям:

I. **«Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности»**, включающее статьи по технологии производства, материаловедению, товароведению, экспертизе и безопасности текстильных, швейных, обувных и кожевенно-галантерейных изделий.

II. **«Химическая технология»**, включающее статьи, в которых рассматриваются физико-химические основы химической технологии волокнистых материалов, технологии получения и переработки полимеров и композитов на их основе, оборудование химических производств, а также способы рационального использования материальных ресурсов в промышленности.

III. **«Экономика»**, содержащее статьи по исследованию экономических и бизнес-процессов в промышленности, включая интеграционные и кооперационные связи в рамках региональных объединений и межотраслевых структур.

3. В журнале публикуются статьи следующих видов:

– научная статья;

– обзорная статья;

– заметки редактора.

4. Рукописи, направляемые в журнал, должны являться оригинальным материалом, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.

5. К рукописи статьи необходимо приложить следующие материалы:

– заявку с указанием названия статьи, тематического направления (из п. 2), к которому она подается, вида статьи (из п. 3), со списком авторов и их личными подписями. В заявке авторы должны гарантировать, что статьи не публиковались ранее в других изданиях в их нынешней или близкой по содержанию форме, не находятся на рассмотрении в редакциях других изданий и все возможные конфликты интересов, связанные с авторскими правами и опубликованием рассматриваемых статей, урегулированы. Также в заявке необходимо указать согласие авторов на размещение полного текста статьи в сети Интернет;

– аннотацию на русском языке объемом 150–250 слов. Аннотация призвана выполнять функцию независимого источника информации, должна быть информативной, оригинальной, структурированной. В аннотации должна быть отражена актуальность темы исследования, постановка проблемы, цель и методы исследования, полученные результаты. В случае выполнения исследований в рамках финансируемых проектов или грантов после текса аннотации необходимо указать источник финансирования;

– перевод аннотации на английский язык;

– ключевые слова на русском и английском языках (5–8 слов или выражений);

– сопроводительное письмо от организации, где выполнялась работа, или выписка 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;

– электронный вариант всех материалов, кроме сопроводительного письма (выписки из протокола заседания кафедры) и экспертного заключения;

– подробный отчёт о проверке рукописи статьи на наличие некорректных заимствований, выполненный с помощью одной из современных платформ Рекомендуемые антиплагиат-платформы: Антиплагиат.эксперт, Антиплагиат.ВУЗ, Антиплагиат.ru, Руконтекст, Text.ru, eTXT, Advego Plagiatus, Content Watch, Antiplagius, PR-CY. Оригинальность текста (без реферата, списка использованных источников и сведений об авторах) – не менее 60 %.

6. Направляемые в редакцию журнала статьи должны иметь следующую структуру: индекс УДК; название статьи; фамилии и инициалы авторов; текст статьи; список использованных источников.

7. Статья должна содержать следующие разделы:

– введение, включающее обоснование актуальности рассматриваемой проблемы, характеристику состояния проблемы до начала ее изучения авторами со ссылками на источники информации, цель исследований;

– методы и средства исследований, в том числе, авторские методики, если они использовались при выполнении работы;

– результаты исследований;

– анализ полученных результатов с точки зрения их научной новизны и в сопоставлении с соответствующими известными данными и высказанными при поста-

новке задачи гипотезами;

– выводы.

Выводы не должны носить констатирующий характер и содержать сведения, отсутствующие в основном тексте статьи.

8. Оформление ссылок на используемые источники и их библиографического описания осуществляется в соответствии со стандартом Harvard (Harvard reference system) согласно отдельной инструкции.

9. Список использованных источников должен включать ссылки на актуальные научные публикации по теме статьи. Количество источников в научной статье включает не менее 15 наименований, в обзорной статье – не менее 30 наименований.

10. 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.

11. Список должен содержать не менее 30 % источников в изданиях, включенных в ведущие международные наукометрические базы (Scopus, Web of Science).

12. В список источников не включаются стандарты, другие нормативные документы, методические рекомендации, статистические бюллетени, сайты ненаучного содержания. Ссылки на подобные источники оформляются в виде примечаний по тексту статей.

13. Оформление статьи должно удовлетворять следующим требованиям:

– статьи подаются на русском или английском языке;

– текст статьи, аннотации и ключевые слова набираются шрифтом Arial, 11 пт, с полями страницы (верхнее, нижнее, левое, правое) – 20 мм и одинарным межстрочным интервалом;

– страницы рукописи статьи должны быть пронумерованы;

– объем научной статьи без учета аннотации и списка использованных источников должен составлять от 20 000 до 40 000 печатных знаков (6–12 страниц); объем обзорной статьи – не менее 10 страниц;

– в файлах не должно быть макросов, колонтитулов и других сложных элементов форматирования за исключением нумерации страниц;

– 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 подрисуночную надпись (Arial, 10 пт). Графики и диаграммы представляются как рисунки, выполняются в графическом редакторе, совместимым с Microsoft Word. Фотографии должны иметь контрастное 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;

– в случае оформления графиков, диаграмм, схем и других иллюстрации с использованием программ Excel и PowerPoint авторы должны дополнительно представить исходные файлы электронных таблиц, презентаций и т. д.;

– 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;

– в случае представления статьи на русском языке необходимо дополнить подрисуночные надписи и названия таблиц переводом на английский язык;

– распечатка статьи должна полностью соответствовать приложенному файлу.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются.

14. Авторы статей несут ответственность за достоверность приводимых в статье данных и результатов исследований.

15. Редакция не взимает плату за опубликование научных статей.

16. Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей, представленных лицами, осуществляющими послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство) в год завершения обучения.

17. Поступившие в редакцию статьи после предварительной экспертизы на соответствие предъявляемым требованиям направляются двум специалистам для проведения «слепого» рецензирования. Окончательное решение о публикации принимается на заседании редакционной коллегии с учетом результатов рецензирования.

Решение о публикации статьи, необходимости ее доработки или дополнительного рецензирования, а также об отказе в публикации принимается на заседании редколлегии после ее проверки на наличие некорректных заимствований Национальной библиотекой Беларуси и представления редактором тематического направления».

18. Отклоненные редколлегией рукописи статей авторам не возвращаются.

19. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения в тексте статьи, аннотации, не искажающие основное содержание статьи. Сверстанные тексты статей до опубликования направляются авторам для согласования.

20. Статьи представляются в редакцию по адресу: 210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский проспект, 72, Берашевич Ирине Васильевне. Электронный вариант материалов допускается направлять по электронной почте на адрес vestnik@vstu.by ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Для цитирования информационных ресурсов рекомендуется использовать Гарвардский стиль оформления (Harvard).

Ссылка на источник приводится в скобках и состоит из фамилии автора на языке источника и года публикации (Smith, 2020).

Если цитируются несколько источников в одних круглых скобках, следует перечислить их в том же порядке, в котором они указаны в списке литературы, и использовать точку с запятой для их разделения (Johnson, 2015; Smith, 2014).

Цитата приводится в кавычках с указанием номера страницы "After that I lived like a young rajah in all the capitals of Europe..." (Fitzgerald, 2018, p. 43).

Если материал был создан несколькими лицами, их фамилии принято разделять союзом "and" (в русскоязычных источниках – союзом "и"). Два автора (Johnson and Williams, 2019). Три автора (Taylor, Fisher and Brown, 2014). Если авторами выступает более трех индивидов, то делается пометка et al. (Harrison et al., 2016).

Для различения авторов с одной фамилией применяются инициалы; для работ одного автора, опубликованных в одном году – латинская буквенная идентификация, например, (Ivanov, 2017a, 2017b).

Если авторы источника не указаны, используется название источника, помещенное в кавычки, и выделенное курсивом "Psychology of pressure" (2010).

Список использованных источников

В соответствии с требованиями отечественных и международных баз данных, для обеспечения качественной и точной оценки цитируемости научных работ в рукописях необходимо приводить два списка источников:

1. Список источников на языке оригинала.

Библиографическое описание оформляется следующим образом (таблица 1).

При наличии в источнике четырех и более авторов необходимо перечислить всех авторов в библиографической записи. Пунктуация должна быть следующей: два автора, отделяются "and" без запятой; несколько авторов, разделяются запятыми, но последняя фамилия должна быть связана с предыдущей "and" без запятой. Ingram, T.N., Laforge, R.W., Schwepker, T.V. and Williams, M.R. (2007).

Источники одного и того же автора должны быть упорядочены по году публикации. Если в одном году опубликовано несколько произведений одного и того же автора, они располагаются в алфавитном порядке названий.

При наличии в описании источника электронного идентификатора DOI, он указывается в конце библиографического описания в списке источников.

2. Список с переводом на английский язык библиографических данных тех источников, которые изданы на других языках (References).

Если все источники изданы на английском языке, второй список не оформляется. Для русскоязычных источников в References в конце описания после указания диапазона страниц в круглых скобках указывается идентификатор языка первоисточника (In Russian).

Библиографическое описание оформляется следующим образом (таблица 2).

Библиографические данные в обоих списках не нумеруются и располагается в алфавитном порядке по первой букве первого слова каждого источника (обычно это фамилия первого автора, если авторы не указаны,

Таблица 1

Статья в научном журнале	Фамилия, И.О. (год). Название статьи. *Название издания курсивом*, vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи.
Книга	Фамилия, И.О. (год). *Название курсив*. Город: издательство, страна.
Электронный ресурс	Автор (год), "Название статьи", [Online], полный URL, (дата обращения (Accessed, если источник на английском языке): дд.мм.гггг).

Таблица 2

Статья в научном журнале	Фамилия, И.О. (год). Перевод названия статьи на английский язык [Название в транслитерации]. *Название издания в транслитерации = на английском языке курсивом*, vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи (In Russian).
Книга	Фамилия, И.О. (год). *Название в транслитерации курсивом* [Название на английском языке]. Город: издательство, страна (In Russian).

то по названию). В начале списка перечисляются русскоязычные источники, затем иностранные. Список с переводом на английский язык оформляется с сохранением последовательности источников в списке на языке оригинала.

Библиографическое описание источников, включенных в международные наукометрические базы (Scopus, Web of Science), выделяются желтым цветом.

Подробные рекомендации по составлению списков литературы по стандарту Harvard представлены на сайте https://www.emeraldgrouppublishing.com/how-to/authoring-editing-reviewing/use-harvard-reference-system.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 2 (56)

Дизайн обложки Абрамович Н. А.

Дизайн и вёрстка издания Погорельская С. И.

Редактор издания Никифорова Р. А.

Подписано в печать 10.11.2026. Печать цифровая. Гарнитура Akrobat, Inter Tight.
Усл. печ. листов 16,3. Уч.-изд. листов 17,3. Формат 60x90 $^{1}/_{8}$. Тираж 100 экз. Заказ № 572.

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.