

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 (54)

ВИТЕБСК 2025

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

№ 4 (54)

VITEBSK 2025

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, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Index Copernicus International (ICI), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), научную электронную библиотеку «КиберЛенинка».

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

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.

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

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 scientific publications on results of dissertation research, and indexed in the National information Analysis System "Russian Science Citation Index", Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) academic databases, Index Copernicus International (ICI), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), the CyberLeninka scientific electronic library.

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

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

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

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА РЕДАКТОРА К 60-ЛЕТИЮ УНИВЕРСИТЕТА Научно-педагогические школы

Валерий Иосифович Ольшанский – основатель научной школы
«Энергоэффективные технологии влажно-тепловой, термической обработки
и сушки изделий и материалов в легкой и текстильной промышленности»..... 10

Сергей Григорьевич Ковчур – основатель научной школы в области экологии,
природных ресурсов, ресурсосбережения, рационального природопользования
и защиты от чрезвычайных ситуаций 14

Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

Панкевич Д. К., Иванова Ю. С.

Теплозащитные свойства комплексных мембранных материалов в условиях увлажнения.....18

Хильтманн Х., Хоффманн П., Пипер Л., Малтиг Б.

Защитные и рабочие перчатки как функциональные текстильные изделия:
обзор коммерческих продуктов на основе инновационных волокнистых материалов29

Иванова В. В., Скобова Н. В.

Исследование способов подготовки конопляного волокна для армирования текстильных
биокомпозитов..... 39

Зайцева Н. С., Рыклин Д. Б.

Исследование влияния структуры и сырьевого состава шнуров на их разрывную нагрузку....52

Борозна В. Д., Буркин А. Н., Пряник Н. Н., Молочко А. Н.

Исследование методик оценки прочности ниточных соединений верха обуви62

Химическая технология

Чикунская В. М., Огородников В. А., Щербина Л. А., Будкуте И. А.

Влияние температурно-временной экспозиции на свойства ионитов на основе
акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфоокислоты..... 76

Кадирова Н. Р., Рафиков А. С., Ясинская Н. Н., Туйчиев Д. Б., Ленько К. А.

Получение упаковочной бумаги на основе хлопкового пуха и макулатуры 87

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

Модификация полиакрилонитрильных волокон катамином АБ..... 95

Касаева Т. В.

Оценка уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организациях легкой промышленности 107

Жуковский А. Д., Клокель М. С.

Экономическое и инфраструктурное преобразование Амурской области в контексте трансграничной кооперации с Китаем 122

Зайцева О. В.

Совершенствование информационного обеспечения рынка труда Республики Беларусь на основе современных методов прогнозирования спроса на труд 136

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 157

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... 160

CONTENTS

EDITORIAL ON THE 60th ANNIVERSARY OF THE UNIVERSITY Scientific and Academic Schools

- Valeriy I. Olshansky – founder of the scientific school "Energy-efficient technologies for moisture-thermal and thermal processing and drying of products and materials in the light and textile industries"10
- Sergey G. Kovchur – founder of a scientific school in the field of ecology, natural resources, resource conservation, sustainable use of natural resources, and disaster management14

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

- Darya K. Pankevich, Yulia S. Ivanova**
Thermal protection properties of complex membrane materials under humidification18
- Hannah Hiltmann, Paula Hoffmann, Lina Pieper, Boris Mahltig**
Protective and working gloves as functional textile products – overview on commercial products with special dedication to advanced fiber materials29
- Valeriya V. Ivanova, Natalia V. Skobova**
Study of methods for preparing hemp fiber for reinforcing textile biocomposites39
- Natalia S. Zaitseva, Dzmitry B. Ryklin**
Research of the influence of structure and raw material composition of cords on their breaking load52
- Vilia D. Borozna, Alexander N. Burkin, Natalia N. Pryanik, Alexander N. Molochko**
A study of methods for assessing the strength of thread joints in shoe uppers62

Chemical Engineering

- Vera M. Chygunskaya, Valery A. Ogorodnikov, Leonid A. Shcherbina, Iryna A. Budkute**
The effect of temperature and time exposure on the properties of acrylonitrile- and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid-based ion exchangers76
- Nargis R. Kadirova, Adxam S. Rafikov, Natalia N. Yasinskaya, Davlatxuja B. Tuychiev, Ksenia A. Lenko**
Production of packaging paper based on the cotton fluff and waste paper87
- Natalia V. Pchalova, Leonid A. Shcherbina, Iryna A. Budkute**
Modification of polyacrylonitrile fibers by catamine AB95

Tamara V. Kasayeva

Assessment of the level of ICT development in light industry organizations 107

Andrey D. Zhukovskii, Maria S. Klokel

Economic and infrastructural transformation of the Amur region in the context of cross-border cooperation with China 122

Olga V. Zaitseva

Improving the information support of the labor market of the Republic of Belarus based on modern methods of labor demand forecasting..... 136

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL

"BULLETIN OF STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY" 157

PREPARATION OF LINKS TO SOURCES AND A LIST OF REFERENCES..... 160

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

К 60-летию университета

Научно-педагогические школы

В 2025 году Витебский государственный технологический университет отмечает свое 60-летие.

Одной из важнейших составляющих деятельности современного учреждения высшего образования является научно-исследовательская работа. Сегодня университет является аккредитованной научной организацией, широко известной среди ученых Республики Беларусь, стран ближнего и дальнего зарубежья, специалистов-практиков организаций различных сфер деятельности в значительной степени благодаря сформировавшимся научно-педагогическим школам.

Формирование научно-педагогических школ началось с момента основания Витебского технологического института легкой промышленности в 1965 г. В связи с отраслевой направленностью деятельности института научные исследования были сфокусированы на проблемах текстильной и легкой промышленности. Однако со временем области исследований существенно расширились с учетом увеличения количества специальностей подготовки специалистов и потребностей субъектов хозяйствования.

В настоящее время в университете функционируют 9 научно-педагогических школ и 1 в стадии формирования. К действующим научно-педагогическим школам относятся:

– научно-педагогическая школа «Технологии текстильных материалов», основатель – д.т.н., профессор Коган А.Г. (год основания – 1969 г.);

– научно-педагогическая школа «Информационные технологии в производствах легкой промышленности», основатель – д.т.н., профессор Сункуев Б.С. (год основания – 1990 г.);

– научно-педагогическая школа «Экология, природные ресурсы, ресурсосбережение, рациональное природопользование и защита от чрезвычайных ситуаций», основатель – д.т.н., профессор Ковчур С.Г. (год основания – 1992 г.);

– научно-педагогическая школа «Технология и проектирование тканей сложных структур», основатель – к.т.н., доцент Казарновская Г.В. (год основания – 1995 г.);

– научно-педагогическая школа «Энергоэффективные технологии влажно-тепловой, термической обработки и сушки изделий и материалов в легкой



и текстильной промышленности», основатель – к.т.н., профессор Ольшанский В.И. (год основания – 1995 г.);

– научно-педагогическая школа «Качество обуви и ее комплектующих», основатель – д.т.н., профессор Горбачик В.Е. (год основания – 1997 г.);

– научно-педагогическая школа «Товароведение непродовольственных товаров», основатель – д.т.н., профессор Буркин А.Н. (год основания – 2010 г.);

– научно-педагогическая школа «Разработка и исследование трикотажа медицинского назначения и процессов его производства», основатель – к.т.н., доцент Чарковский А.В. (год основания – 2013 г.);

– научно-педагогическая школа «Исследование социально-трудовых аспектов развития национальной экономики» – д.э.н., профессор Ванкевич Е.В. (год основания – 2021 г.).

С учетом значительного вклада научных школ в научно-педагогическую и инновационную деятельность в каждом выпуске научно-технического журнала «Вестник Витебского государственного технологического университета» в течение юбилейного года будут публиковаться статьи, посвященные их основателям и наиболее значимым достижениям.

Ректор университета,
главный редактор

А.А.Кузнецов

**Валерий Иосифович Ольшанский – основатель научной школы
«Энергоэффективные технологии влажно-тепловой, термической обработки
и сушки изделий и материалов в легкой и текстильной промышленности»**

Валерий Иосифович родился 19 сентября 1943 г. После окончания Витебского технологического института легкой промышленности по специальности «Машины и агрегаты легкой промышленности» в 1970 г. Валерий Иосифович работал преподавателем на кафедре «Машины и аппараты легкой и текстильной промышленности». В 1976 году поступил в заочную аспирантуру Рижского политехнического института и в 1984 году успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук в ученом совете Всесоюзного научно-исследовательского института легкого и текстильного машиностроения (ВНИИЛТЕКМАШ), г. Москва, по специальности «Машины и агрегаты легкой и текстильной промышленности». Тема диссертационной работы «Комплексный анализ взаимодействия петлеобразующих механизмов промышленных швейных машин и повышение качества выполнения рабочего процесса».



С 1991 года по 2021 год В. И. Ольшанский работал заведующим кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства».

Одним из ключевых научных направлений кафедры под руководством Валерия Иосифовича стали разработка и исследование ресурсо- и энергоэффективных технологий, создание научных основ проектирования ресурсо- и энергосберегающего оборудования. С 1994 года в рамках кафедры под руководством профессора Ольшанского Валерия Иосифовича выполнялись научно-исследовательские работы в рамках государственных программ научных исследований, объединённые решением актуальных задач повышения эффективности использования энергетических ресурсов в промышленности. В рамках выполняемых работ проводились исследования по созданию первых отечественных тепловых насосов и сушильных установок, внедрялись в производство установки с вихревым эффектом, технологические процессы с использованием возобновляемых и вторичных ресурсов.

В 1995 году основана научная школа «Энергоэффективные технологии влажно-тепловой, термической обработки и сушки изделий и материалов в легкой и текстильной промышленности».

В разные годы в состав коллектива научно-педагогической школы входили: Ольшанский Валерий Иосифович, к.т.н., профессор; Ольшанский Анатолий Иосифович, к.т.н., доцент; Кузнецов Андрей Александрович, д.т.н., профессор; Беляков Николай Владимирович, к.т.н., доцент; Дмитракович Николай Михайлович, к.т.н., доцент; Угольников Александр Александрович, к.т.н., доцент; Белов Евгений Валентинович, к.т.н., доцент; Путеев Николай Владимирович, к.т.н., доцент; Ясинская Наталья Николаевна, д.т.н., доцент; Жерносек Сергей Васильевич, к.т.н., доцент; Довыденкова Вера Петровна, к.т.н.; Парманчук Вера Владимировна, инженер-исследователь; Окунев Роман Владимирович, инженер-исследователь; Мацкевич Евгений Владимирович, инженер-исследователь.

С 2000 года Валерием Иосифовичем налажено сотрудничество с Министерством по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь в вопросах проектирования материалов и одежды специального назначения. В рам-

ках Государственной программы научных исследований «Информатика и космос. Научное обеспечение безопасности и защиты от ЧС» выполнялись научно-исследовательские работы по созданию защитных костюмов, устойчивых к воздействию высоких температур в условиях нестационарной теплопроводности.

Сегодня научно педагогическая школа по энергоэффективным технологиям влажно-тепловой, термической обработке и сушке изделий и материалов в легкой и текстильной промышленности как интеллектуальная система выполняет важную исследовательскую функцию по разработке концептуальных, научно-методических, инструментально-прикладных положений и реализации

политики страны по обеспечению энергобезопасности, внедрению энергосберегающих технологий, диверсификации источников получения энергоресурсов (создание нового знания), а также педагогическую функцию, направленную на систематизированное изложение теоретико-методологических и организационно-практических основ формирования энергоэффективного и энергосберегающего промышленного производства Республики Беларусь на базе применения инновационных образовательных технологий, связанных с производственной и творческой направленностью, и создания образовательного, научного и коммуникативного пространства, формирующего образовательный и научный потенциал страны.



*Коллектив научно-педагогической школы «Энергоэффективные технологии влажно-тепловой, термической обработки и сушки изделий и материалов в легкой и текстильной промышленности» в 2025 году
В нижнем ряду: д.т.н., профессор Пятов Владислав Владимирович, к.т.н., профессор Ольшанский Валерий Иосифович, м.т.н., аспирант Рудаков Святослав Андреевич, инженер-исследователь Столяренко Владимир Ильич;
в верхнем ряду: к.т.н., доцент Дрюков Василий Васильевич, к.т.н., доцент Жерносек Сергей Васильевич, инженер-исследователь Марущак Алексей Сергеевич, к.т.н., доцент Гусаров Алексей Михайлович, инженер Котов Алексей Анатольевич*

В рамках разработки энергоэффективных технологий влажно-тепловой обработки изделий и материалов выполнен комплекс исследований процессов взаимодействия влажных текстильных и кожевенно-обувных материалов и изделий с электромагнитным излучением частот различного диапазона, что направлено на повышение качества материалов и изделий легкой и текстильной промышленности и интенсификацию технологических процессов. В результате исследований сушки материалов и изделий легкой и текстильной промышленности решен ряд проблем, связанных с интенсификацией технологических процессов в легкой и текстильной промышленности, что тесно связано с проблемой энергосбережения, технологическим обеспечением процессов сушки, повышением качества и формоустойчивости изделий. Интенсификация технологических процессов сушки, при различных способах энергоподвода, имеет своей конечной целью сокращение потребляемой энергии на единицу продукции, уменьшение массы и габаритных размеров сушильных установок, повышение качественных показателей материалов и изделий. Создание высокоэффективных отечественных установок для сушки и термофиксации позволяет существенно снизить энергетические затраты, интенсифицировать процессы сушки, повысить качество производимой продукции. Решение поставленных задач возможно на базе теоретико-экспериментальных исследований основных режимных параметров процесса сушки при различных способах энергоподвода, разработке и создании научно-обоснованных методов проектирования и расчета. Эти методы базируются на решении системы уравнений тепломассообмена от большой группы тепломассообменных критериев подобия; применении аналитических расчетов по номограммам; исследовании регуляризации процесса сушки. Совокупность применяемых методов исследований позволяет создать научные основы расчета и проектирования технологических процессов и оборудования для сушки материалов и изделий легкой и текстильной промышленности. При решении задач развития научного и технологического обеспечения процесса изготовления водо-термо-огнестойких материалов и специальной защитной одежды проведены комплексные теоретико-экспериментальные исследования изменения теплофизических показателей узлов и соединений специальной защитной одежды после многоцикловых воздействий, выполнены исследования процесса теплопереноса через отверстия

в околошовной зоне.

Научный вклад В. И. Ольшанского исчисляется более чем 500 научными и научно-методическими работами, в числе которых 5 учебных пособий с грифом Министерства образования Республики Беларусь, 1 учебник в двух томах, 4 монографии, более 20 изобретений. Эти работы до сих пор не утратили своей актуальности, а среди наиболее цитируемых работ можно выделить следующие:

1. Оценка и прогнозирование механических свойств текстильных нитей. Кузнецов А. А., Ольшанский В. И. (Витебск, 2004).

2. Основы энергосбережения. Ольшанский А. И., Ольшанский В. И., Беляков Н. В. (Витебск, 2007).

3. Композиционные текстильные материалы. Ясинская Н. Н., Ольшанский В. И., Коган А. Г. (Витебск, 2015).

4. Ресурсосберегающие технологии в швейной промышленности. Зимица Е. Л., Ольшанский В. И. (Витебск, 2016).

5. Технологические и теоретические основы получения материалов с использованием текстильных отходов. Зимица Е. Л., Коган А. Г., Ольшанский В. И. (Витебск, 2019).

Под научным руководством и консультированием Валерия Иосифовича успешно защищены кандидатские диссертации:

1. Ясинская, Н. Н. Разработка и исследование технологического процесса получения комбинированных высокоусадочных нитей, год защиты – 2000 (научный руководитель – д.т.н., проф. Коган А.Г.).

2. Медвецкий, С. С. Разработка и исследование технологического процесса получения пневмотекстурированных нитей большой линейной плотности, год защиты – 2000 (научный руководитель – д.т.н., проф. Коган А.Г.).

3. Скобова, Н. В. Технология получения неоднородных пряжеподобных текстурированных нитей, год защиты – 2001 (научный руководитель – д.т.н., проф. Коган А.Г.).

4. Кузнецов, А. А. Разработка технологии пневмотекстурирования химических нитей, год защиты – 2002.

5. Макаренко, Е. Ф. Конвективная установка проходного типа для сушки и термофиксации обуви, год защиты – 2009.

6. Дмитракович, Н. М. Огнетермостойкий материал на тканой основе ракельного способа формирования для защитной одежды пожарных-спасателей, год защиты – 2009.

7. Жерносек, С. В. Формирование свойств композиционных текстильных материалов в условиях инфракрасного и сверхвысокочастотного излучения, год защиты – 2016.

8. Довыденкова, В. П. Технология упрочнения и герметизации ниточных соединений специальной защитной одежды из огнестойких материалов, год защиты – 2018.

Учитывая значительный научный задел в области энергоэффективности, наличие публикаций с высоким научным рейтингом и современной материальной-технической базы, в 2021 году возникла целесообразность в организации в университете кафедры теплоэнергетики, способной решать научные и прикладные задачи в области энерго- и ресурсоэффективности промышленности. Кафедру теплоэнергетики со дня основания и до сентября 2023 года возглавлял Валерий Иосифович и под его руководством в 2022 году в университете обеспечен выпуск первых инженеров-энергетиков по специальности «Техническая эксплуатация энергооборудования организаций».

Вклад Валерия Иосифовича в развитие Витебского государственного технологического университета известен за пределами университета, при его непосредственном участии налажено эффективное сотрудничество с крупнейшими промышленными предприятиями республики, а также с Тверским государственным техническим университетом и Омским государственным техническим университетом.

Успехи в трудовой деятельности Валерия Иосифовича отмечены заслуженными наградами: знак «Победитель социалистического соревнования 1975 г.» (1976); Почетная грамота Витебского технологического института легкой промышленности (1984, 1986); Грамота Министерства образования и науки Республики Беларусь (1995); Почетная грамота Витебского областного исполнительного комитета (2003, 2013); Почетная грамота Министерства образования Республики Беларусь (2003, 2010, 2013); Почетная грамота концерна Беллепром (2003); Почетная грамота Витебского государственного технологического университета (2003); Почетная грамота Витебского городского исполнительного комитета (2005, 2008); Лауреат премии «Человек года Витебщины – 2019» (2020); Почетная грамота Витебского областного исполнительного комитета (2025).

Сергей Григорьевич Ковчур – основатель научной школы в области экологии, природных ресурсов, ресурсосбережения, рационального природопользования и защиты от чрезвычайных ситуаций

Среди многих талантливых учёных, работавших в Витебском технологическом институте лёгкой промышленности (Витебском государственном технологическом университете), значимое место занимает Сергей Григорьевич Ковчур.



Ковчур Сергей Григорьевич (1934–2025) в 1958 году успешно закончил Белорусский политехнический институт и был направлен на работу на Борисовский стекольный завод, где работал в должности начальника смены, цеха, а затем – главным инженером. В 1964 года был назначен директором завода пластмассовых изделий.

В 1969 году, работая на производстве, Ковчур С. Г. защитил кандидатскую диссертацию. С февраля 1970 года Ковчур С. Г. приступил к работе в Витебском технологическом институте легкой промышленности в должности старшего преподавателя кафедры «Теплотехника, отопление, вентиляция и увлажнение» («Теплотехника и ОВУ»). Уже в мае 1970 года он был избран доцентом этой же кафедры, а в августе 1971 года – деканом вечернего общетехнического факультета.

В октябре 1974 Сергей Григорьевич возглавил кафедру «Теплотехника и ОВУ», которая с 1975 по 1990 год стала называться «Проектирования промышленных предприятий, теплотехники и охраны труда».

В декабре 1989 г. Сергей Григорьевич Ковчур защитил докторскую диссертацию в Ленинградском технологическом институте имени Ленсовета и в мае 1990 г. решением ВАК при Совете Министров СССР ему была присуждена ученая степень доктора технических наук. В этом же году кафедра «Проектирования промышленных предприятий, теплотехники и охраны труда» была переименована в кафедру «Охрана труда и промышленная экология». В декабре 1990 года Ковчур С. Г. было присвоено ученое звание профессора.

Сергей Григорьевич возглавлял кафедру более 40 лет, до 2016 года. С 2015 года кафедра «Охрана труда и промышленная экология» стала называться «Охрана труда и химия», а с 2017 года – кафедра «Экология и химические технологии».

Являясь заведующим кафедрой в течение 42 лет, он уделял большое внимание оснащению лабораторий и подготовке кадров высшей научной квалификации, в результате чего была создана научно-педагогическая школа в области экологии, природных ресурсов, ресурсосбережения, рационального природопользования и защиты от чрезвычайных ситуаций. Сочетание высокого профессионализма, глубоких теоретических знаний и многолетнего практического опыта всегда привлекало студентов на лекции Сергея Григорьевича, поддерживало интерес к излагаемому материалу.

Сергей Григорьевич стоял у истоков создания и развития в нашем институте аспирантуры. В 1992 при Витебском технологическом институте лёгкой промышленности была открыта аспирантура по специальности 11.00.11 «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов», которая в 2010 году переименована в специальность 25.00.36 «Геоэкология».

Сергей Григорьевич принимал активное участие в подготовке научных кадров высшей квалификации не только университета, но и в целом в Республике Беларусь. Долгое время он являлся членом экспертного Совета № 22 Высшей Аттестационной комиссии Беларуси, а в период с 2008 по 2010 гг. – член специализированного совета К 11.01.01 по защите кандидатских диссертаций ГУО «Командно-инженерный институт МЧС Республики Беларусь».



Коллектив кафедры «Охрана труда и промэкология», 2005 год



Коллектив кафедры «Охрана труда и промэкология», 2006 год

КОЛОНКА РЕДАКТОРА К 60-ЛЕТИЮ УНИВЕРСИТЕТА

Научно-педагогические школы

В основу теоретических и практических исследований научно-педагогической школы положены работы, проведенные Ковчуром С. Г. и Платоновым А. П. в период с 1987 по 1992 годы в области эффективных технологий утилизации отходов легкой, химической и приборостроительной промышленности с целью получения чистых металлов, адсорбентов и строительных материалов с высокими эксплуатационными свойствами. В период с 1998 по 2002 годы проводимые ранее исследования были дополнены теоретическими и практическими разработками экологически безопасных технологий комплексной утилизации жидких и шламовых металлосодержащих промышленных отходов предприятий г. Витебска и Витебской области, разработаны мероприятия по улучшению условий труда, экологической обстановки на предприятиях легкой и машиностроительной промышленности. Начиная с 2003 года и по настоящее время коллектив научно-педагогической школы успешно проводит теоретические и экспериментальные работы в области комплексной утилизации техногенных продуктов промышленных предприятий.

Со времени основания научной-педагогической школы Ковчуром С. Г. опубликовано более 580 печатных работ, в том числе 10 монографий, 1 учебник, 8 учебных пособий, 12 авторских свидетельства и патентов на изобретения не только Республики Беларусь, но и Российской Федерации.

Благодаря организаторским способностям и умению увлечь людей, Сергей Григорьевич всегда проводил научные исследования совместно с группой единомышленников – Платоновым А. П., Потоцким В. Н., Тимоновым И. А., Гречаниковым А. В. В рамках научно-педагогической школы разработаны теоретические и практические основы ресурсосберегающих, импортозамещающих технологий производства отделочных строительных материалов с использованием неорганических отходов станций обезжелезивания и теплоэлектроцентралей, теория фиксации неорганических пигментов, полученных из промышленных отходов, проведены исследования полиэлектролитов в качестве поверхностно-активных веществ, новых коагулянтов и флокулянтов в процессах водоподготовки.



Кафедра «Экология и химические технологии», 2018 год

Несмотря на свой высокий статус и авторитет, Сергей Григорьевич был чрезвычайно чутким и открытым человеком, готовым всегда прийти на помощь окружающим. Его неординарная личность всегда привлекали к нему людей. Все, кто учился у него или работал с ним, всегда отзываются о нем с уважением и благодарностью.

В настоящее время научные идеи Сергея Григорьевича развиваются его учениками и единомышленниками – Гречаниковым Александром Викторовичем, Тимоновым Иваном Афанасьевичем, Ковчуром Андреем Сергеевичем, Манаком Павлом Ивановичем (директор ОАО «Обольский керамический завод» до 2023 г.).

Теплозащитные свойства комплексных мембранных материалов в условиях увлажнения

Д. К. Панкевич,
Ю. С. Иванова

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящее время при проектировании теплозащитной одежды применяют комплексные мембранные материалы, процессы переноса тепла, поглощения и отдачи влаги в которых мало изучены. Для производства комфортной одежды вопрос рационального подбора материалов определенных структур на основании изучения их свойств является актуальным.

Одной из научных проблем является определение факторов, влияющих на изменение теплового сопротивления материалов одежды, а также оценка значимости и вектора воздействия этого влияния на ощущение комфорта человека в одежде.

Цель работы – определение факторов, наиболее существенно влияющих на тепловое сопротивление комплексных мембранных материалов для одежды в условиях увлажнения, и оценка значимости этого влияния для рационального подбора материалов в пакет демисезонной одежды.

В работе использованы авторские и стандартные методы и средства исследования структуры, гигроскопичности и теплового сопротивления материалов. Объектами исследования являются трехслойные комплексные материалы, состоящие из тканых и трикотажных полотен, соединенных клеевым способом с мембраной, расположенной между ними.

Установлено, что на тепловое сопротивление материалов существенно влияет их гигроскопичность, тип мембраны и время увлажнения. Влияние толщины материала обнаруживается до определенного значения увлажнения образцов.

Результаты исследования обобщены в виде рекомендаций по применению материалов определенной структуры для изготовления демисезонной одежды. Показано, что материалы с гидрофильной мембраной нецелесообразно применять для демисезонной одежды, поскольку в условиях увлажнения их тепловое сопротивление изменяется по сложному закону, снижаясь и повышаясь в пределах (± 10) %, поэтому более вероятен дискомфорт пользователя.

У материалов с пористой гидрофобной мембраной тепловое сопротивление при увлажнении снижается равномерно в пределах 5 % от начального значения, что делает их материалами выбора при проектировании демисезонной одежды различного назначения.

Ключевые слова: одежда, тепловое сопротивление, комплексные мембранные материалы, увлажнение, гигроскопичность, структура.

Информация о статье: поступила 22 сентября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Thermal protection properties of complex membrane materials under humidification

Darya K. Pankevich,
Yulia S. Ivanova

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. Currently, when designing thermal protective clothing, complex membrane materials are used. However, the processes of heat transfer, absorption and release of moisture within these materials remain poorly understood.

One of the scientific problems is the identification of factors influencing changes in the thermal resistance of clothing materials, as well as the assessment of the significance and vector of impact of this influence on a person's feeling of comfort in clothing.

The aim of the work is to determine the factors that most significantly influence the thermal resistance of complex membrane materials for clothing under humid conditions, and to assess the significance of this influence for the rational selection of materials for a package of demi-season clothing.

The study applied author's and standard methods and tools to study the structure, hygroscopicity, and thermal resistance of materials. The subjects of the study were three-layer composite materials consisting of woven and knitted fabrics bonded with an adhesive membrane sandwiched between them.

It has been established that the thermal resistance of materials is significantly affected by their hygroscopicity, membrane type, and wetting time. The effect of material thickness is detectable up to a certain wetting value of the samples.

The study's results are summarized in the form of recommendations for the use of materials with specific structures in the production of demi-season clothing. It is shown that materials with a hydrophilic membrane are not suitable for use in demi-season clothing. Under humid conditions, their thermal resistance changes according to a complex law, decreasing and increasing within the range of (± 10) %, therefore it more likely results in wearer discomfort.

The thermal resistance of materials with a porous hydrophobic membrane decreases uniformly when moistened within 5 % of the initial value, which makes these materials suitable for designing demi-season multi-purpose clothing.

Keywords: clothing, thermal resistance, complex membrane materials, humidification, hygroscopicity, structure.

Article info: received September 22, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18-19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Тепловое сопротивление материалов является ключевым показателем теплозащитных свойств одежды из них, характеризующим интенсивность прохождения теплового потока через плоский пакет материалов одежды в окружающую среду (Бринк И. Ю., Богданов В. Ф. и др., 2016). Наибольшее значение оценка показателей теплозащитных свойств имеет при проектировании демисезонной и зимней одежды (Соколова А. С., Кузнецов А. А. и Надежная Н. Л., 2016). Анализ требований, установленных российскими и зарубежными стандартами к теплозащитной одежде, показал, что тепловое сопротивление пакета материалов также является и основным контролируемым параметром при оценке соответствия (Лукьянова Е. Б., Черунова И. В. и Ташпулатов С. Ш., 2022).

Теплозащитная способность материала находится в прямой зависимости от величины теплового сопротивления, которая в условиях неподвижного воздуха существенно и линейно зависит от его толщины, что доказано экспериментально (Бессонова Н. Г. и Жихарев А. П., 2007). Требуемую величину теплового сопротивления пакета одежды определяют следующие факторы: температура, скорость движения и относительная влажность воздуха окружающей среды; воздухопроницаемость, влажность, теплопроводность пакета одежды; статическое или динамическое состояние человека (Усенбеков Ж.,

Нурбай С. К. и Сеитов Б. Х., 2022).

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к облегчению пакета одежды, в связи с чем для проектирования теплозащитной одежды применяют и комплексные материалы с мембраной (КММ), процессы переноса тепла, поглощения и отдачи влаги в которых существенно зависят от их структуры и мало изучены. Ассортимент КММ, применяющихся при производстве изделий легкой промышленности, постоянно расширяется, особенно это касается материалов верха демисезонной одежды. Популярны трехслойные материалы, в которых мембранный слой расположен между текстильными слоями. Появление и широкое распространение материалов новых структур требует создания рекомендаций по оптимальному их подбору в соответствии с назначением.

Известно, что взаимодействие влаги с материалом может изменять их тепловое сопротивление, существенно влияя на комфорт и функциональность одежды (Бринк И. Ю., Богданов В. Ф. и др., 2016). Во время эксплуатации одежды пакет материалов может увлажняться за счет потоотделения, которое активируется при физических нагрузках, температурных колебаниях и стрессовых состояниях. Влага из пота проникает сквозь структуру материалов, что приводит к изменению теплоизоляционных свойств одежды. Эффективность

тепловой защиты обеспечивается не только пассивной теплоизоляцией, но и комбинированными свойствами одежды, в том числе функцией аккумуляции тепла материалами с последующей его отдачей (Черунова И. В. и Лесникова Т. Ю., 2017), а также их сорбционными свойствами (Бесшапошникова В. И., Климова Н. А. и др., 2020). Под воздействием градиента температуры в пористых телах наблюдается термовлагопроводность, т. е. происходит передвижение влаги, что может снижать тепловое сопротивление материалов на 18 % (Ефимов С. С., Старостин Е. Г. и Таппырова Н. И., 2011). Свойство текстиля переносить влагу оказывает глубокое влияние как на эксплуатационные характеристики одежды, так и на тепловой комфорт человека (Ганиева М. Х. и Ташпулатов С. Ш., 2023, с.36). Содержание воды, адсорбированной материалом из паровоздушной среды с относительной влажностью около 100 %, называется гигроскопической влажностью и характеризуется показателем гигроскопичности.

Влияние влажности и сорбционных свойств КММ на их тепловое сопротивление изучено мало. В работе (Иванова Н. Е. и Шустов Ю. С., 2025) показано, что наличие гидрофильной мембраны значительно снижает теплоизоляцию пакета материалов для одежды. Авторами исследования (Бесшапошникова В. И., Климова Н. А. и др., 2020b) экспериментально установлено, что процесс десорбции влаги из пододежного пространства в мембранных материалах начинается через 25–70 минут после начала роста влажности. Это время сопоставимо с продолжительностью носки одежды. Поэтому, как показано в работах (Besshaposhnikova V. I., Klimova N. A. and Kovaleva N. E., 2018; Бессонова Н.Г., 2018) в пододежном пространстве одежды из КММ влажность чаще всего повышена. Для атмосферных условий эксплуатации демисезонной одежды также характерна высокая влажность воздуха, поэтому исследование теплового сопротивления КММ при увлажнении целесообразно.

Требуемое суммарное тепловое сопротивление материалов одежды при среднем уровне физической активности для двухчасового пребывания на открытом воздухе при наружной температуре, характерной для межсезонья, составляет от 0,16 м²·°С/Вт до 0,38 м²·°С/Вт, при этом считается, что «...увлажнение текстильных материалов одежды приводит к резкому падению их теплового сопротивления и сопровождается набуханием, объемной контракцией и выделением тепла» (Колесников П. А., 1971).

Особенности строения КММ, которые могут повлиять на изменение теплозащитных свойств при увлажнении, обусловлены структурой и сорбционными свойствами материала и слоев, входящих в его состав. На основании анализа литературных источников к таким особенностям можно отнести: толщину слоев, их пористость, паропроницаемость и гигроскопичность. Выявление фактора, оказывающего наибольшее влияние на стабильность теплозащитных свойств КММ, позволит разработать рекомендации по области применения материалов различных структур для изготовления демисезонной одежды.

Целью данного исследования является определение факторов, наиболее существенно влияющих на тепловое сопротивление комплексных мембранных материалов для одежды в условиях увлажнения, и оценка значимости этого влияния для рационального подбора материалов в пакет демисезонной одежды.

Методы и средства исследований

Структуру КММ исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ, электронный микроскоп VEGA II LSH с системой энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 250 ADD с программным обеспечением). Методика исследования структуры по микрофотографии поверхности и поперечного среза материала, полученной методом СЭМ, разработана на основе изложенной в источнике (Склянников В. П., 1984) с дополнениями, учитывающими структурные особенности материалов с мембраной и возможности компьютерной обработки изображений, и изложена в источнике (Панкевич Д. К. и Кукушкин М. Л., 2017). Параметры структуры поперечного среза образцов исследовали с помощью программного обеспечения сканирующего электронного микроскопа. Анализировали следующие характеристики: общая толщина образца, толщина текстильной основы, толщина и структура мембраны.

Состав КММ исследовали методом ИК-спектроскопии с использованием ИК-спектрофотометра с Фурье-преобразованием Nexus 5700 с программным обеспечением OMNIC 71. Испытания проводили в Белорусском республиканском центре зондовой микроскопии Института механики металлополимерных систем имени В. А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель.

Для исследования теплового сопротивления использовалась методика, основанная на принципе нестационарного теплового режима. Его сущность заключается в определении времени остывания нагретого тела, изо-

лированного от окружающей среды исследуемым материалом, в заданном интервале температур (Петюль И. А. и Сапелко В. В., 2019). Испытания проводили для кондиционированных и увлажненных образцов КММ, применяя следующее оборудование: климатическая камера YTN-408-40-IP; источник питания GW Instek GPS-73030DD; цифровой регистратор температуры производства «EuroPribor»; датчик температуры; нагревательный элемент (вольфрамовый цилиндр длиной 12 см и диаметром 2 см с удельной теплоемкостью 134 Дж/кг·°C); секундомер.

Для проведения испытания были подготовлены пробы из исследуемых материалов в виде прямоугольных конвертов размером (200×150) мм. Нагревательный элемент вместе с датчиком температуры помещали внутрь прямоугольных конвертов из исследуемых материалов. Температуру и время остывания нагретого до 60 °C вольфрамового цилиндра в диапазоне температур 55 °C – 45 °C регистрировали цифровым регистратором «EuroPribor» и секундомером при контролируемых условиях (температура воздуха (20±2) °C, влажность (80±4)%). Параметры воздуха климатической камеры устанавливали с учетом повышенной влажности климата РБ в межсезонье и с целью моделирования необходимого перепада температур воздуха, соответствующего исследуемому диапазону метеопараметров и комфортному теплоощущению человека (Кириллов В. Ф. и Федорович Г. В., 2011).

Образцы кондиционировали до испытания при температуре воздуха (20±2) °C, влажности (65±4) %.

Для увлажнения образцов их выдерживали 0,5, 2, 3, 4 и 6 часов в эксикаторе (температура воздуха (20±2) °C, влажность (98±2) %). Массу образцов определяли до и после увлажнения для расчета процента Δ_m увлажнения материала по формуле (1):

$$\Delta_m = \frac{m_g - m_k}{m_k} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m_g – масса увлажненного образца, г; m_k – масса кондиционированного образца, г.

Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}$ м²·°C/Вт, вычисляли по формуле (2):

$$R_{\text{сум}} = \frac{S_{\text{пр}} \cdot \tau}{c \cdot m}, \quad (2)$$

где $S_{\text{пр}}$ – площадь поверхности пробы, через которую совершается теплообмен, $S_{\text{пр}} = 0,0216$ м²; τ – время

остывания нагревательного элемента в заданном интервале температур, с; c – удельная теплоемкость нагревательного элемента, $c = 134$ Дж/кг·°C; m – масса нагревательного элемента, $m = 0,1297$ кг (Петюль И. А. и Сапелко В. В., 2019).

Определение паропроницаемости КММ выполняли по ГОСТ Р 57514-2017 с помощью прибора W-30 гравиметрическим методом.

Определение поверхностной плотности КММ выполняли по ГОСТ 3811-72. Плотность нитей по основе и по утку для тканых текстильных слоев КММ определяли по ГОСТ 3812-72. Число петельных рядов и число петельных столбиков для трикотажных текстильных слоев КММ – по ГОСТ 8846-87. Гигроскопичность КММ – по ГОСТ 3816-81, гигроскопичность слоев КММ – по ГОСТ 3816-81 без соблюдения формы и размеров образца, по результатам испытания навесок, содержащих 0,50 г фрагментов разделенных у кромки КММ (несклеенных) слоев.

Результаты исследований

В качестве объектов исследования предложены три образца комплексных трехслойных мембранных материалов с разной структурой слоев (таблицы 1, 2), текстильные слои которых выполнены из полиэфира (ПЭ), мембранные – из полиуретана (ПУ).

Таким образом, в исследовании принимали участие образцы с мембранами двух структур – гидрофобной сетчатой пористой (образец № 2) и гидрофильной монолитной (образцы № 1 и № 3). Лицевая и изнаночная сторона образцов образована текстильными полотнами различных структур и толщины. Структурные характеристики исследуемых образцов материалов, определенные по стандартным методикам и по результатам микроскопии, представлены в таблице 2. СЭМ-изображение поверхности мембраны и поперечного среза образца № 2 представлено на рисунке 1.

Анализ данных таблицы 2 показывает, что образцы № 1 и № 2 существенно отличаются типом (пористостью) и толщиной мембраны, имеют одинаковые изнаночные слои и незначительно отличающиеся лицевые слои. Ожидается, что сравнение теплового сопротивления этих образцов покажет влияние пористости и толщины мембраны на изучаемый показатель. Образцы № 1 и № 3 имеют одинаковые мембраны, незначительно отличающиеся лицевые слои, но существенно разные по толщине и плотности изнаночные слои. Сравнение теплового сопротивления этих образцов покажет влияние структуры текстиля на тепловое сопротивление

Таблица 1 – Характеристика объектов исследования

Table 1 – Characteristics of research objects

Номер образца	Характеристика лицевой стороны материала	Характеристика изнаночной стороны материала	Характеристика мембраны
1	ПЭ ткань полотняного переплетения	ПЭ трикотажное полотно одинарного комбинированного переплетения, полученного сочетанием поперечносоединенного и плюшевого переплетений	ПУ гидрофильная монолитная
2	ПЭ трикотажное полотно переплетения кулирная гладь	ПЭ трикотажное полотно одинарного комбинированного переплетения, полученного сочетанием поперечносоединенного и плюшевого переплетений	ПУ гидрофобная пористая сетчатая
3	ПЭ ткань полотняного переплетения	ПЭ трикотажное полотно двуластичного переплетения с подворсовкой	ПУ гидрофильная монолитная

Таблица 2 – Результаты исследования структуры материалов

Table 2 – Results of the study of the structure of materials

Номер образца	Поверхностная плотность, г/м ²	Структура						
		текстильного тканого / трикотажного (тр) слоя				мембранного слоя		
		толщина (лицо / изнанка), мм	плотность (количество нитей / петель на 10 см)			толщина слоев, мм		
			по основе / столбиков	по утку / рядов		пористого	монолитного	
1	305	0,31 / 0,72	лицо	520	440		нет	0,04
			изнанка (тр)	130	160			
2	328	0,30 / 0,72	лицо (тр)	530	320		0,02	нет
			изнанка (тр)	130	160			
3	335	0,30 / 1,20	лицо	510	410		нет	0,04
			изнанка (тр)	140	180			

увлажненного КММ.

В таблице 3 отражен анализ результатов исследования сорбционных свойств КММ в комплексе и послойно.

Образцы № 1 и № 2 близки по гидрофильности комплексного материала, образец № 3 существенно отличается. Паропроницаемость материалов различна: для КММ с гидрофильной монолитной мембраной (№ 1 и № 3) коэффициент паропроницаемости не превышает 2000 г/(м²·24 ч), для образца № 2 – в два раза выше. Ожидается, что сравнение теплового сопротивления образцов покажет влияние сорбционных свойств КММ и составляющих их слоев на изучаемый показатель.

На рисунках 2–4 представлены диаграммы рассеяния значений теплового сопротивления образцов КММ в зависимости от процента увлажнения (слева) и графики изменения процента увлажнения образцов от времени экспозиции в эксикаторе (справа). Для удобства анализа результатов исследования диаграммы и графики показаны попарно в соответствии с номером образца.

Анализ результатов

Анализ результатов испытаний образца № 1 показывает, что значение его теплового сопротивления изменяется при увлажнении. Кондиционированный образец при исследовании во влажном воздухе обладает

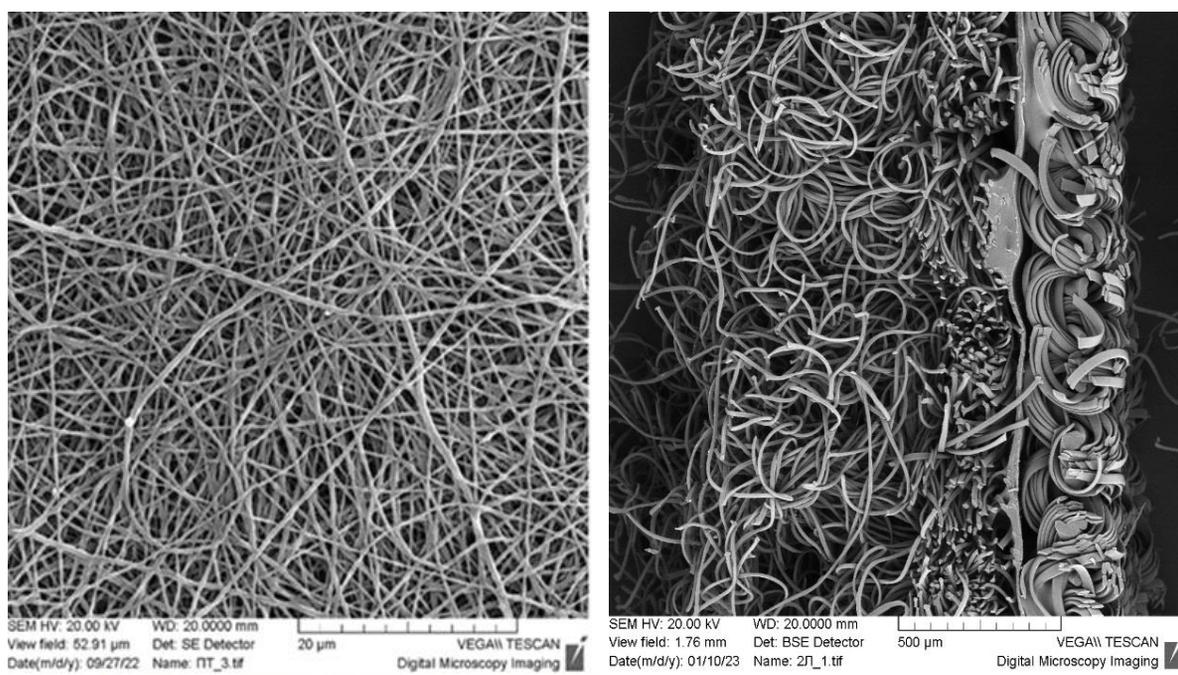


Рисунок 1 – Поверхность мембраны ($\times 4500$) и поперечный срез ($\times 450$) образца № 2
Figure 1 – Membrane surface ($\times 4500$) and cross-section ($\times 450$) of Sample 2

Таблица 3 – Результаты исследования сорбционных свойств материалов
Table 3 – Results of the study of sorption properties of materials

Номер образца	1	2	3
Гигроскопичность комплексного материала, %	1,23	1,98	3,76
Гигроскопичность лицевого слоя, %	0,65	2,40	3,55
Гигроскопичность изнаночного слоя, %	0,97	0,97	4,63
Гигроскопичность мембраны, %	2,54	1,53	2,54
Коэффициент паропроницаемости, г/(м ² ·24 ч)	1995	4230	1090

тепловым сопротивлением $0,40 \text{ м}^2\cdot\text{°С}/\text{Вт}$, что несколько выше рекомендуемых значений для демисезонной одежды при средней активности человека. Снижение показателя на 8 % происходит при его увлажнении на 0,5 %, затем при росте процента увлажнения тепловое сопротивление образца повышается и составляет после 6 часов выдержки в эксикаторе $0,40 \text{ м}^2\cdot\text{°С}/\text{Вт}$. Вероятно, при увлажнении гидрофильной монолитной мембраны происходит экзотермическая химическая реакция с выделением теплоты, что компенсирует первоначаль-

ное снижение теплового сопротивления. При увлажнении 1,22 % значение теплового сопротивления образца № 1 соответствует начальному уровню. За время опыта (6 часов) образец практически достиг гигроскопической влажности (1,23 %). При этом за первые полчаса выдержки в эксикаторе образец сорбировал 30 % влаги от этой величины. Рост процента увлажнения во времени описывается моделью, представленной на рисунке 2, – интенсивный вначале (около 0,5 % в час) и замедляющийся через час.

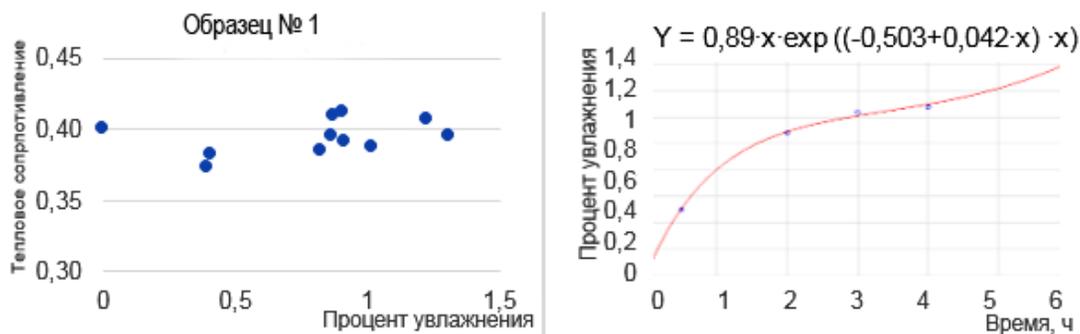


Рисунок 2 – Графическое представление результатов испытаний образца № 1
Figure 2 – Graphical representation of the test results for Sample 1

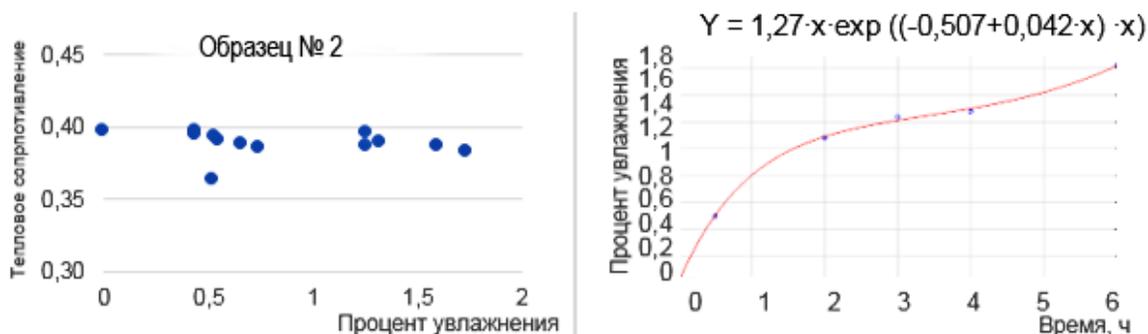


Рисунок 3 – Графическое представление результатов испытаний образца № 2
Figure 3 – Graphical representation of the test results for Sample 2

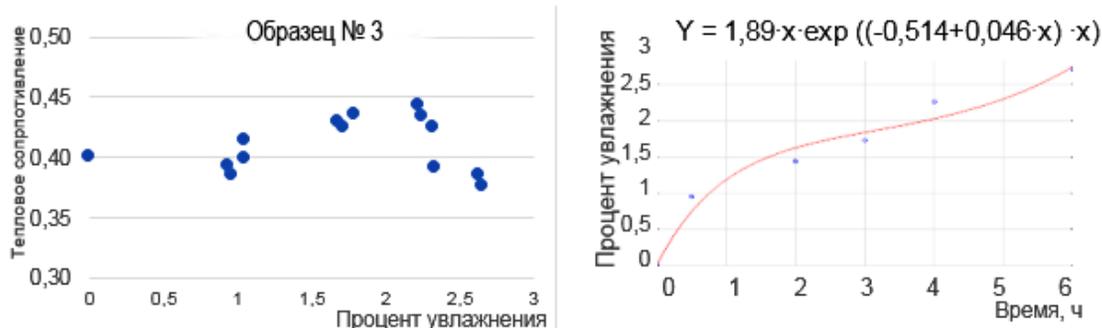


Рисунок 4 – Графическое представление результатов испытаний образца № 3
Figure 4 – Graphical representation of the test results for Sample 3

Диаграмма рассеяния значений теплового сопротивления образца № 2 показывает несколько другую картину: показатель закономерно снижается с ростом процента увлажнения. Кондиционированный образец

при исследовании во влажном воздухе обладает тепловым сопротивлением 0,40 м²·°С/Вт, которое затем снижается в течение опыта на 5% и составляет после 6 часов увлажнения 0,38 м²·°С/Вт.

За время опыта образец не достиг гигроскопической влажности (1,98 %). За первые полчаса процент увлажнения составил 25 % этой величины, через 6 часов – 82 %. Рост процента увлажнения в зависимости от времени выдержки в эксикаторе также описывается моделью, представленной на рисунке 3. Повышение уровня теплового сопротивления для образца № 2, содержащего гидрофобную сетчатую пористую мембрану, не выявлено.

Анализ результатов испытаний образца № 3 показывает, что кондиционированный образец при исследовании во влажном воздухе обладает тепловым сопротивлением $0,40 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, с ростом процента увлажнения эта величина сначала повышается на 10 %, а затем при достижении увлажнения 2,2 % быстро снижается и составляет после 6 часов опыта $0,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. В отличие от образца № 1, содержащего такую же мембрану, но менее гигроскопичные текстильные слои, образец № 3, увлажняясь, теряет теплозащитные свойства интенсивнее, хотя обладает большей толщиной. В течение опыта он не достигает гигроскопической влажности (3,76 %): в первые полчаса увлажнение составляет 25 % этой величины, за 6 часов – 72 %. Рост теплового сопротивления наблюдается только в течение первых 3 часов увлажнения.

Результаты показали, что увлажнение влияет на тепловое сопротивление материалов, однако характер изменения различен для образцов КММ с различными сорбционными свойствами. Выявлено, что гигроскопичность оказывает более значимое влияние на тепловое сопротивление КММ в условиях увлажнения, чем толщина. Так, образцы № 1 и № 2 обладают меньшей толщиной по сравнению с образцом № 3 и при увлажнении на 1 % их тепловое сопротивление ниже, что соответствует данным анализа литературных источников о прямой пропорциональности этих величин. Однако, образцы № 1 и № 2 не способны сорбировать более 2 % влаги из паровоздушной среды, в то время как при длительном увлажнении более гигроскопичный образец № 3 впитал больше влаги и его тепловое сопротивление снизилось по сравнению с тепловым сопротивлением образца № 1 и сравнялось с тепловым сопротивлением образца № 2. Вероятно, велико влияние гигроскопичности текстиля: у образцов № 1 и № 3, имеющих одинаковые мембраны, существенно разные по гигроскопичности текстильные слои (таблица 4). Поэтому при увлажнении КММ зависимость теплового сопротивления от толщины материала

сохраняется только при малом проценте сорбированной образцом влаги (в данном случае – менее 2 %).

Паропроницаемость КММ определяет, как быстро материал будет увлажняться изнутри при активном отделении пользователя одежды и какими будут теплоощущения человека. Для трех исследованных образцов паропроницаемость убывает в ряду № 2 – № 1 – № 3. В этом же ряду убывает и процент изменения теплового сопротивления (включая как возрастание, так и снижение) – 5 % для образца № 2; 8 % для образца № 1 и 15 % для образца № 3.

Выводы

Структура и сорбционные свойства КММ оказывают существенное влияние на изменение теплоизоляционных свойств в условиях повышения влажности, что важно учитывать при проектировании одежды. При незначительном увлажнении не более 2 % тезис о большем тепловом сопротивлении материалов большей толщины справедлив. Тепловое сопротивление материалов, обладающих большей гигроскопичностью, при длительном увлажнении снижается более интенсивно. Поэтому существенно важным становится время нахождения материала во влажных условиях.

У материала с гидрофобной пористой сетчатой мембраной снижение теплового сопротивления равномерное, а у материалов с гидрофильной мембраной наблюдается колебание значений показателя в зависимости от времени увлажнения, вероятно, из-за происходящей в структуре монолитной гидрофильной мембраны химической реакции с выделением теплоты, вызывающей временное повышение теплового сопротивления. Такое изменение также значимо для проектирования одежды, особенно если разрабатывается изделие для длительного пребывания на холодном и влажном воздухе.

В плане рекомендаций по использованию трехслойных КММ в одежде стоит отметить, что тепловое сопротивление исследуемых образцов выше значений, рекомендованных для демисезонной одежды и двухчасового пребывания на открытом воздухе человека, проявляющего средний уровень активности. Поэтому КММ с гидрофильной мембраной нецелесообразно применять для демисезонной одежды, поскольку их тепловое сопротивление может увеличиваться при увлажнении, а паропроницаемость низка, что приведет к дискомфорту пользователя, ощущаемому как «припарок». Такие материалы возможны для применения в одежде, предназначенной для низкого уровня активности человека

и невысокой влажности атмосферного воздуха, когда процент их увлажнения при эксплуатации не превышает 2 %.

У КММ с пористой гидрофобной мембраной более высокий уровень паропроницаемости, а тепловое сопротивление при увлажнении снижается плавно, равномерно и всего на 5 % от начального значения, что делает их материалами выбора при проектировании демисезонной одежды различного назначения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Бессонова, Н.Г. и Жихарев, А.П. (2007). *Теплофизические свойства материалов для изделий легкой промышленности*. Москва: ИИЦ МГУДТ, Российская Федерация.

Бессонова, Н.Г. (2018). Оценка комфортности одежды с различными утеплителями. *Дизайн и технологии*, № 64 (106), С. 66–70.

Бесшапошникова, В.И., Климова, Н.А., Бесшапошникова, Н.В. и Ковалева, Н.Е. (2020). Влияние низких температур на эксплуатационные свойства мембранных тканей для одежды. *Химические волокна*, № 1, С. 55–58.

Бесшапошникова, В.И., Климова, Н.А., Бесшапошникова, Н.В. и Ковалева, Н.Е. (2020). Влияние эксплуатационных факторов на паропроницаемость мембранных тканей и пакетов одежды. *Ивестия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 6 (390), С. 51–54.

Бринк, И.Ю., Богданов, В.Ф. и Колесник, С.А. (2016). *Основы проектирования тепловой защиты аутдор-снаряжения*: Новочеркасск: ИСОИП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, Российская Федерация.

Ганиева, М.Х. и Ташпулатов, С.Ш. (2023). Особенности швейных изделий из влагопоглощающих материалов. *Universum: технические науки*, № 9-3 (114), С. 35–38.

Ефимов, С.С., Старостин, Е.Г. и Таппырова, Н.И. (2011). Влияние термовлагопроводности на термическое сопротивление пористых материалов. *Теплофизика и аэромеханика*, Т 18, № 1, С. 139–144.

Иванова, Н.Е. и Шустов, Ю.С. (2025). Анализ суммарного теплового сопротивления пакетов материалов для демисезонной специальной одежды. *Сборник научных трудов кафедры сервисных технологий и бизнес-процессов «Использование когнитивных технологий и сервисов в экономике, коммерции и маркетинге»*: Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), С. 113–118.

Кириллов, В.Ф. и Федорович, Г.В. (2011). Расчет теплоизолирующих параметров одежды для комфортных условий работы. *Медицина труда и промышленная экология*, № 4, С. 25–31.

Колесников, П.А. (1971). *Основы проектирования теплозащитной одежды*: Москва: Легкая индустрия, Российская Федерация.

Лукьянова, Е.Б., Черунова, И.В. и Ташпулатов, С.Ш. (2022). *Особенности проектирования женской теплозащитной одежды для условий криосферы*: Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», Российская Федерация.

Панкевич, Д.К. и Кукушкин, М.Л. (2017). Влияние многоциклового механического нагружения на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1 (32), С. 99–108.

Петюль, И.А. и Сапелко, В.В. (2019). Исследование суммарного теплового сопротивления пакетов материалов альтернативными методами. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 1 (36), С. 68–80.

Склянкин, В.П. (1984). *Строение и качество тканей*: Москва: Легкая и пищевая промышленность, Российская Федерация.

Соколова, А.С., Кузнецов, А.А. и Надежная, Н.Л. (2016). Метод оценки теплозащитных свойств материалов одежды и их пакетов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (31), С. 24–31.

Усенбеков, Ж., Нурбай, С.К. и Сеитов, Б.Х. (2024). Расчет теплозащитных параметров пакетов одежды методом имитационного моделирования [методом Монте-Карло]. *Вестник Алматинского технологического университета*, № 2, С. 197–206.

Черунова, И.В. и Лесникова, Т.Ю. (2017). Физико-биологические условия для проектирования защитной одежды от охлаждения человека на воздухе и воде. *Инженерный вестник Дона*, №3 (46), С. 78–91.

Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A. and Kovaleva, N.E. (2018). Research of the effect of low temperatures on the structure and properties of membrane fabrics for clothing. *ISJ Theoretical & Applied Science*, no. 11 (67), pp. 54–61.

REFERENCES

Bessonova, N.G. and Zhikharev, A.P. (2007). *Teplofizicheskie svoystva materialov dlya izdelij legkoj promyshlennosti* [Thermophysical properties of materials for light industry products]. Moscow: IITs MGUDT, Russian Federation (In Russian).

Bessonova, N.G. (2018). Evaluation of the comfort of clothing with different insulation materials [Ocenka komfortnosti odezhdy s razlichnymi uteplitel'yami]. *Dizajn i tekhnologii = Design and Technology*, no. 64 (106), pp. 66–70 (In Russian).

Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A., Besshaposhnikova, N.V. and Kovaleva, N.E. (2020). The influence of low temperatures on the performance properties of membrane fabrics for clothing [Vliyaniye nizkih temperatur na ekspluatatsionnyye svoystva membrannykh tkanej dlya odezhdy]. *Himicheskie volokna = Chemical fibers*, no. 1, pp. 55–58 (In Russian).

Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A., Besshaposhnikova, N.V. and Kovaleva, N.E. (2020). Influence of operational factors on the vapor permeability of membrane fabrics and clothing bags [Vliyaniye ekspluatatsionnykh faktorov na paropronicaemost' membrannykh tkanej i paketov odezhdy]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, no. 6 (390), pp. 51–54 (In Russian).

Brink, I.Yu., Bogdanov, V.F. and Kolesnik, S.A. (2016). *Osnovy proektirovaniya teplovoj zashchity audor-snaryazheniya* [Fundamentals of designing thermal protection for outdoor equipment]. Novocherkassk: ISOiP (branch) of DSTU in Shakhty, Russian Federation (In Russian).

Ganieva, M.Kh. and Tashpulatov, S.Sh. (2023). Features of garments made of moisture-absorbing materials [Osobennosti shvejnykh izdelij iz vlagopogloshchayushchih materialov]. *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: technical sciences*, no. 9-3 (114), pp. 35–38 (In Russian).

Efimov, S.S., Starostin, E.G. and Tappyrova, N.I. (2011). Influence of thermal and moisture conductivity on the thermal resistance of porous materials [Vliyaniye termovlagoprovodnosti na termicheskoe soprotivleniye poristykh materialov]. *Teplofizika i aeromekhanika = Thermophysics and Aeromechanics*, vol. 18, no. 1, pp. 139–144 (In Russian).

Ivanova, N.E. and Shustov, Yu.S. (2025). Analysis of the Total Thermal Resistance of Fabric Packages for Demi-Season Special Clothing [Analiz summarnogo teplovogo soprotivleniya paketov materialov dlya demisezonnoj special'noj odezhdy]. *Sbornik nauchnykh trudov kafedry servisnykh tekhnologij i biznes-processov «Ispol'zovanie kognitivnykh tekhnologij i servisov v ekonomike, kommercii i marketinge» = Collection of Scientific Papers of the Department of Service Technologies and Business Processes "Use of Cognitive Technologies and Services in Economics, Commerce, and Marketing"*. Moscow: A.N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), pp. 113–118 (In Russian).

Kirillov, V.F. and Fedorovich, G.V. (2011). Calculation of thermal insulation parameters of clothing for comfortable working conditions [Raschet teploizoliruyushchih parametrov odezhdy dlya komfortnykh uslovij raboty]. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya = Occupational Medicine and Industrial Ecology*, no. 4, pp. 25–31 (In Russian).

Kolesnikov, P.A. (1971). *Osnovy proektirovaniya teplozashchitnoj odezhdy* [Fundamentals of designing thermal protective clothing]. Moscow: Light industry, Russian Federation (In Russian).

Lukyaynova, E.B., Cherunova, I.V. and Tashpulatov, S.Sh. (2022). *Osobennosti proektirovaniya zhenskoy teplozashchitnoj odezhdy dlya uslovij kriosfery* [Design Features of Women's Thermal-Protective Clothing for Cryospheric Conditions]. Kursk: university book, Russian Federation (In Russian).

Pankevich, D.K. and Kukushkin, M.L. (2017). Effect of high-cycle mechanical loads on the structure of waterproof materials with a polyester urethane membrane [Vliyanie mnogociklovyh mekhanicheskikh nagruzok na strukturu vodozashchitnyh materialov s poliefiruretanovoj membranoj]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 1 (32), pp. 99–108 [In Russian].

Petyul, I.A. and Sapelko, V.V. (2019). Study of the total thermal resistance of material packages by alternative methods [Issledovanie summarnogo teplovogo soprotivleniya paketov materialov al'ternativnymi metodami]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 1 (36), pp. 68–80 [In Russian].

Sklyannikov, V.P. (1984). *Structure and quality of fabrics* [Stroenie i kachestvo tkanej]: Moscow: Light and food industry, Russian Federation [In Russian].

Sokolova, A.S., Kuznetsov, A.A. and Nadezhnaya, N.L. (2016). Method for assessing the thermal protection properties of clothing materials and their packages [Metod ocenki teplozashchitnyh svoystv materialov odezhdy i ih paketov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 2 (31), pp. 24–31 [In Russian].

Usenbekov, ZH., Nurbaj, S.K. and Seitov, B.H. (2024). Calculation of thermal protection parameters of clothing bags using Monte Carlo simulation. [Raschet teplozashchitnyh parametrov paketov odezhdy metodom imitacionnogo modelirovaniya (metodom Monte-Karlo)]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Almaty Technological University*, no. 2, pp. 197–206 [In Russian].

Cherunova, I.V. and Lesnikova, T.Yu. (2017). Physico-biological conditions for the design of protective clothing against human cooling in air and water [Fiziko-biologicheskie usloviya dlya proektirovaniya zashchitnoj odezhdy ot ohlazhdeniya cheloveka na vozduhe i vode]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Bulletin of the Don*, no. 3 (46), pp. 78–91 [In Russian].

Besshaposhnikova, V.I., Klimova, N.A. and Kovaleva, N.E. (2018). Research of the effect of low temperatures on the structure and properties of membrane fabrics for clothing. *ISJ Theoretical & Applied Science*, no. 11 (67), pp. 54–61.

Информация об авторах

Information about the authors

Панкевич Дарья Константиновна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: dashapan@mail.ru

Иванова Юлия Сергеевна

Магистрант, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: juls.iv@mail.ru

Darya K. Pankevich

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Clothing and Footwear Design and Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: dashapan@mail.ru

Yulia S. Ivanova

Master's Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: juls.iv@mail.ru

**Защитные и рабочие перчатки как функциональные текстильные изделия:
обзор коммерческих продуктов на основе инновационных волокнистых материалов**

**Х. Хильтманн, П. Хоффманн,
Л. Пипер, Б. Малтиг**

*Университет прикладных наук Нижнего Рейна,
Германия*

Аннотация. Защитные и рабочие перчатки – это функциональные текстильные изделия, созданные из различных видов сырья. В ряде случаев конструкцию подобных изделий дополняют покрытиями или мембранами. Перчатки могут изготавливаться как из обычных текстильных волокон, так и из волокон с улучшенными свойствами. Инновационные волокнистые материалы, в частности высокоэффективный полиэтилен (HPPE), стекловолокно или арамиды, используются для добавления улучшенных характеристик, например стойкости к прорезанию и термозащиты. Защитные перчатки – наглядный пример изделий, обладающих улучшенными и высокоэффективными свойствами. В статье представлен обзор ассортимента защитных перчаток, предлагаемого на немецком рынке, с указанием их состава материалов и функциональных свойств. В качестве волокон, обеспечивающих защиту от порезов, преобладают волокна HPPE или стекловолокно. Для повышения комфорта при ношении предпочтение отдается добавкам небольшого количества эластомерных волокон. В производстве перчаток используются также традиционные полиамидные или полиэфирные волокна. Во многих видах перчаток применяются покрытия из полиуретана или нитрила для улучшения сцепления поверхности и в качестве дополнительного защитного элемента. Свойства материалов подтверждаются измерениями воздухопроницаемости, поверхностного электрического сопротивления, данными электронной микроскопии и ИК-спектроскопии. Методы микроскопии и спектроскопии не позволяют обнаружить все волокна, указанные в информации производителя. При этом в отдельных видах перчаток определяются типы волокон, не заявленные производителями. Представленный обзор позволяет сформировать четкое представление об используемых материалах, а также может служить инструментом для анализа волокон в защитных текстильных изделиях, являющихся доступным коммерческим продуктом.

Ключевые слова: перчатки, функциональный текстиль, инновационные волокна, ИК-спектроскопия, стойкость к прорезанию.

Информация о статье: поступила 14 августа 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

**Protective and working gloves as functional textile products –
overview on commercial products with special dedication to advanced fiber materials**

**Hannah Hiltmann, Paula Hoffmann,
Lina Pieper, Boris Mahltig**

*Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences,
Germany*

Abstract. Protective and working gloves are functional textile products built up by a composition of different fiber materials. Several products are further equipped with coatings or embedded membranes. Fibers used for gloves belong to the category of conventional fibers and to fibers with advanced properties. Advanced fiber materials like high-performance polyethylene HPPE, glass fibers or aramid are used to implement advanced properties like cut-resistance or heat protection. In fact, protective gloves are perfect examples for products containing advanced and high-performance properties. According to this statement, the actual paper gives an overview on selected protective gloves offered on the German market, reporting their material compositions and some functional properties. As cut-resistance fibers most often HPPE fibers or glass fibers are used. To improve wearing comfort often elastane fibers are added in amounts of few percentage. As conventional fibers mainly polyamide or polyester fibers are used. Most gloves are equipped with coatings from polyurethane or nitrile

to increase the grip and as an additional protective element. Material properties are supported by measurements of air permeability, surface electrical resistance, electron microscopy and IR spectroscopic data. Microscopic and spectroscopic methods cannot detect similarly all fibers which are mentioned in supplier information. However, also fiber types which are not claimed by the suppliers are determined in some gloves. By this actual overview the reader gains a fine view on used materials and a tool for fiber analytics on commercially available protective textile products.

Keywords: gloves, functional textiles, advanced fibers, IR spectroscopy, cut resistance.

Article info: received August 14, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Introduction

Protective gloves consist of a variety of technical materials that are specifically combined to ensure optimal protection against mechanical, thermal, and chemical influences. The selection of fibers and coatings used significantly influences properties such as cut resistance, abrasion resistance, heat resistance and comfort [Ertekin, M. & Ertekin, G., 2020; Khanlari, Ghasemi & Heidarimoghdam, 2023; Zhai, Mao, Shen, & Yan, 2021; Dolez, Marsha & McQueen, 2022]. Protective gloves are excellent examples for textile products made from different fiber materials and coatings to achieve finally an advantageous and high-performance product. The Table 1 provides an overview of some basic material properties of selected materials commonly used in modern protective gloves. The related chemical structures of polymers building up these fiber materials are given in Figure 1. Conventional fiber materials from PET and PA are used as inexpensive and also mechanically stable basic material. The maximum temperature of usage T_{max} for these materials is not higher than 150 °C [Mahltig, 2021]. As high cut-resistance material but with lower thermal stability HPPE can be used [Mahltig, 2021]. A high cut-resistance together with a better thermal stability can be reached by fibers as aramid, PBO, glass or basalt fibers [Zhai, Mao, Shen, & Yan, 2021; Miskiewicz, Frydrych, Pawlak & Cichochka, 2019]. An additional protection against thermal radiation can be achieved by aluminum coating [Zhu & Feng, 2020]. For glass fibers from e-glass a T_{max} of around 600 °C is reported. For e-glass fibers a broad range different compositions SiO_2/Al_2O_3 and other metal oxides is mentioned [Wallenberger, 2010]. Polyurethane coatings are often used to improve the grip of the protective gloves and also to support a certain oil resistance. The thermal stability of such cross-linked PUR materials is quite good

(Chattopadhyay, Sreedhar & Raju, 2005). Alternative to PUR coatings also coatings from rubber, nitrile rubber or PVC are used [Zhai, Mao, Shen, & Yan, 2021]. For improvement of textile comfort and fit often small amount of elastane fibers are added [Dolez, Marsha & McQueen, 2022]. However, the thermal stability of elastane fiber materials is difficult to judge, because of different temperature driven processes in the different hard and soft polymer areas in the chemical structure of elastane polymer [Boschmeier et al., 2023]. For the current overview, eight different commercially available gloves are considered which are all dedicated to application as working and protective gloves. One aim of the current study is to report on the broad range of different products available for working and protective gloves and which advanced fiber materials are used in combination with conventional fibers and coatings.

Evaluated Products

As commercially available products eight gloves are chosen as representative materials. These gloves are offered as working and protective gloves and contain additionally to conventional fibers also high-performance fibers to reach the claimed advanced properties as cut-resistance and heat resistance. Table 2 offers an overview on the evaluated gloves together with supplier information on purpose, function, standards and price. Additionally, table 3 offers further information on material composition, suggested areas of usage and claimed properties. For all eight gloves, the suppliers mention several standards for claiming different protective properties. The European standard EN 388 is claimed for all eight gloves and is related to protective gloves against mechanical risks [Zhai, Mao, Shen, & Yan, 2021; European Standard EN 388:2016 «Protective gloves against mechanical risks»]. Gloves according to this standard are intended e.g. for use

Table 1 – Overview on materials often used in working gloves and protective gloves

Material / common name	Maximum temperature of usage T max [°C]	Summary of typical properties	Usage for gloves	Ref.
Polyester (PES / PET)	150	inexpensive, dimensionally stable, low humidity up-take	Basic fabric material	(Ertekin, M. & Ertekin, G., 2020; Mahltig, 2021)
Polyamide, PA (Nylon)	115	Mechanically stable, stable against abrasion	Basic fabric material	(Mahltig, 2021)
High-Performance-Polyethylen, HPPE (Dyneema)	90	Very cut-resistant, lightweight, no moisture absorption, lower thermal stability	Cut protection	(Zhai, Mao, Shen & Yan, 2021; Mahltig, 2021)
Glass fiber	600	High strength, temperature and flame resistant, rigid and brittle	Reinforcement of cut resistant yarns, heat protective fabrics	(Zhai, Mao, Shen & Yan, 2021; Wallenberger, 2010)
Polyurethan, PU	270	Abrasion-resistant, elastic, good grip, oil-resistant	Coating of specific hand and finger areas to improve adhesion	(Zhai, Mao, Shen & Yan, 2021; Chattopadhyay, Sreedhar & Raju, 2005)
Elastane (Lycra)	90	Extremely stretchable, good Stretch-recovery	Improvement of textile fit and comfort	(Dolez, Marsha & McQueen, 2022; Boschmeier et al., 2023)
Aramid	200	Good temperature stability, fire retardant, cut-resistant	Cut resistance, flame & heat resistance	(Ertekin, M. & Ertekin, G., 2020; Khanlari, Ghasemi & Heidarimoghdam, 2023; Zhai, Mao, Shen & Yan, 2021; Mahltig, 2021; Miskiewicz, Frydrych, Pawlak & Cichočka, 2019)
Polybenzoxazol, PBO (Zylon)	310	High temperature stability, fire retardant, cut-resistance	Cut resistance, flame & heat resistance	(Zhai, Mao, Shen & Yan, 2021; Mahltig, 2021)

in activities involving the risk of abrasion, cutting, tearing and puncture. Additional to the standard EN 388, for product 1 and 4 the standard EN ISO 13997 is mentioned which is dedicated to the cut-resistance of protective clothing (Zhai, Mao, Shen, & Yan, 2021; European Standard EN ISO 13997:2024 «Protective clothing – Mechanical properties – Determination of resistance to cutting

by sharp objects»). For glove product 7 additionally the standard EN 407 for heat protective properties is mentioned. For product 8 additional the standard EN 511 is mentioned. This standard EN 511 is dedicated to the evaluation of gloves for cold-protection and, to a certain extent, for protection against moisture (European Standard EN 511:2006 «Protective gloves against cold»).

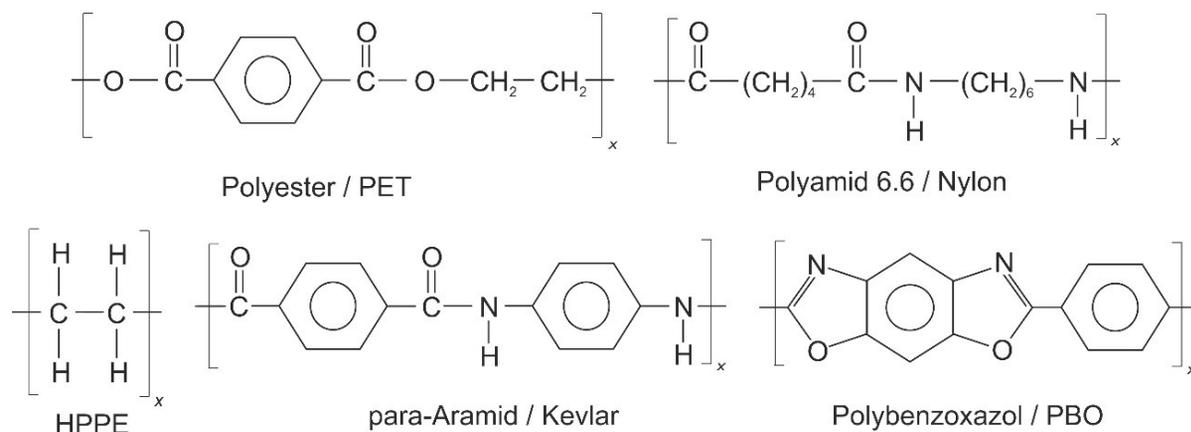


Figure 1 – Chemical structures of polymers building up prominent fibers used for glove production

Table 2 – Overview on discussed gloves, presented are trade names, suppliers, purpose and standard mentioned by the supplier. The price is given per pair gloves

No.	Name & Supplier	Purpose / function	Mentioned Standards	Price [Euro]
1	Kraftwerkzeug / Sanger Haushaltsprodukte GmbH	Cut resistance	EN 388, EN ISO 13997	~ 4
2	TEGERA®, Textilhandschuh-Ejendals	Cut resistance	EN 388	~ 21
3	Duracoil 546 / Showa	Cut resistance	EN 388	~ 8
4	LUX-Schnittschutzhandschuh	Cut resistance	EN 388, EN ISO 13997	~ 6
5	Multiflex / Gebol Handelsgesellschaft GmbH	Working glove	EN 388	~ 5
6	Lux Allround-Handsuh	Multipurpose glove	EN 388	~ 5
7	KarboTECT 950 / KCL GmbH	Heat protective glove to 250 °C / cold protective	EN 388, EN 407	~ 50
8	Gebol Master Thermo Handschuh	Working glove / protective glove for protection against cold and moisture	EN 388, EN 511	~ 15

The product cost is in low to medium price range.

For products 1 to 4, the cut-resistant properties are reached by using HPPE fibers, which can be further improved by co-use of glass fibers. These products are not dedicated to thermal protection. A thermal protection is only claimed for product 7, due to its composition containing aramid. Elastane fibers are present in several products to improve fitting and textile comfort. Only samples 2 and 7 are without PUR or nitrile coating. The

product 8 contains inside the glove a membrane probable to support protection against moisture.

Analytical Methods

The air permeability of the products is tested in accordance with standard ISO 9237 by using a FX 3300 Lab air test device [Textest Instruments] [ISO Standard ISO 9237:1995 «Textiles – Determination of the permeability of fabrics to air»]. The thickness of the products is determined by using a Micrometer Type S16502 (Frank-

Table 3 – Overview on discussed gloves, presented are materials, areas of usage and claimed properties according to supplier information

No.	Material	Suggested areas of usage	Claimed properties
1	Cut-resistant HPPE yarn; PU coating	Gardening, assembly work	Good grip due to PU/nitrile coating, Breathable backhand, Lightweight and flexible
2	Knitted HPPE, Dyneema	Working with cutting tools, assembly work	Comfortable cut protection, Air-permeable/breathable, Good fingertip sensitivity, Thin & soft
3	Fabric from HPPE, PET and glass fibers; PU coating	Working with cutting tools, Handling intricate parts, Light assembly of oil-coated parts, Mechanics and engineering, Automotive repair and maintenance, Bottling, Handling glass and windows	HPPE reinforced, Polyurethane coating, Foam grip, Ergonomic
4	Yarns from 15G HPPE / PET / glass fibers / Elastane and Nitrile coating	for rough craft work and metalwork	High abrasion resistance, Good grip, Cut-resistant
5	96 % Nylon, 4 % Elastane, Nitrile coating	Installation work, Storage work, Assembly work, Repair work, Carpentry work	Skin-friendly, good, dry grip, High wearing comfort & breathable coating, Optimal dexterity
6	Polyamid, Elastane, nitrile coating	Assembly work	Good fitting
7	Para-Aramid and carbon fiber (outside), cotton (inside)	Cold/heat work, Working with cutting tools, Metal manufacturing and processing	Heat insulation, cut-resistance, contact heat till 250 °C
8	Back of hand: 95 % nylon, 5 % elastane; Palm: 58 % nylon, 42 % PU	Construction work, Forestry work, Gardening work, Agricultural work, Assembly work, Repair work	Secure grip, Protection against cold and wet weather, High wearing comfort

PTI GmbH). Air permeability and thickness are tested for all products at three different areas of the gloves – area without coating, area with coating and at the band on the wrist. These measurements are repeated twice and the received average value is further discussed. The electrical surface resistance is determined by a MGT-3 Antistatik Tester (MECO Energie-Kollektoren GmbH, Germany). Microscopic investigations are done by scanning electron microscopy using a Tabletop microscope TM3000 from Hitachi (Japan). Infrared spectroscopic measurements are done with an FT-IR spectrometer IR Tracer-100 (Shimadzu, Japan) which is equipped with a Specac Golden Gate ATR unit.

Air permeability and thickness of materials

Determined air permeability and thickness of considered gloves are shown in Table 4. The given values are average values gained from two individual measurements. The thicknesses of gloves type 1 to 6 are quite similar in the range of 1.1 to 1.7 mm. These gloves are mainly related to cut-protection and for this obviously no bigger thickness is needed. In comparison, gloves 7 and 8 also dedicated to heat or cold protection exhibit significantly higher thickness. For gloves with coated areas, the air permeability at these areas are significantly low. At areas without coatings the air permeability is in the range of 102 to 986 L/m²s, standing for an air permeability from average to high. The air permeability is probable

Table 4 – Overview on air permeability and thickness determined for evaluated gloves

No.	Air permeability [L/m ² s]			Thickness [mm]		
	Area without coating	Area with coating	Band on the wrist	Area without coating	Area with coating	Band on the wrist
1	581	17	376	1.3	1.1	2.2
2	142	---	68	1.5	---	1.8
3	133	61	82	1.4	1.3	1.5
4	432	73	284	1.5	1.6	2.2
5	619	34	343	1.2	1.6	1.5
6	633	21	867	1.3	1.7	1.4
7	986	---	562	6.1	---	9.2
8	102	14	---	5.6	3.1	---

related to the textile construction and less dependent on the type of used fiber. Product 8 is a multilayer material which leads probable to the lowest air permeability of all considered products.

Electrical surface resistance of materials

The electrical surface resistance of all considered products is presented in Table 5. For most products the determined resistance is quite high with more than 10^{10} Ohm which is related to no or low antistatic properties. Interesting is that the coated areas exhibit lower electrical resistance. Only for the product 4 a significantly lower surface resistance of 10^9 Ohm is determined which can be set in relation to antistatic properties (ISO Standard ISO 9237:1995 «Textiles – Determination of the permeability

of fabrics to air»). Because this product 4 exhibits no significant difference in fiber compositions as other considered products the application of antistatic agent might be assumed.

Microscopic investigations

Microscopic images taken with scanning electron microscopy SEM in different magnifications are compared for the eight considered products and shown in Figure 2. These images are taken from uncoated areas of the gloves after cutting them into pieces of around 1 cm² size. Unstructured and even fiber surfaces are visible for all samples which is typical for synthetic fibers, these products are made from. For products 1, 3 and 4 fibers with brighter appearance can be detected. These fibers

Table 5 – Determined electrical surface resistance for evaluated gloves

No.	Electrical surface resistance [Ohm]	
	Area without coating	Area with coating
1	$>1 \times 10^{12}$	5×10^{10}
2	5×10^{10}	---
3	$>1 \times 10^{12}$	2×10^{11}
4	1×10^9	1×10^{10}
5	$>1 \times 10^{12}$	2×10^{10}
6	5×10^{11}	2×10^{10}
7	$>1 \times 10^{12}$	---
8	$>1 \times 10^{12}$	1×10^{10}

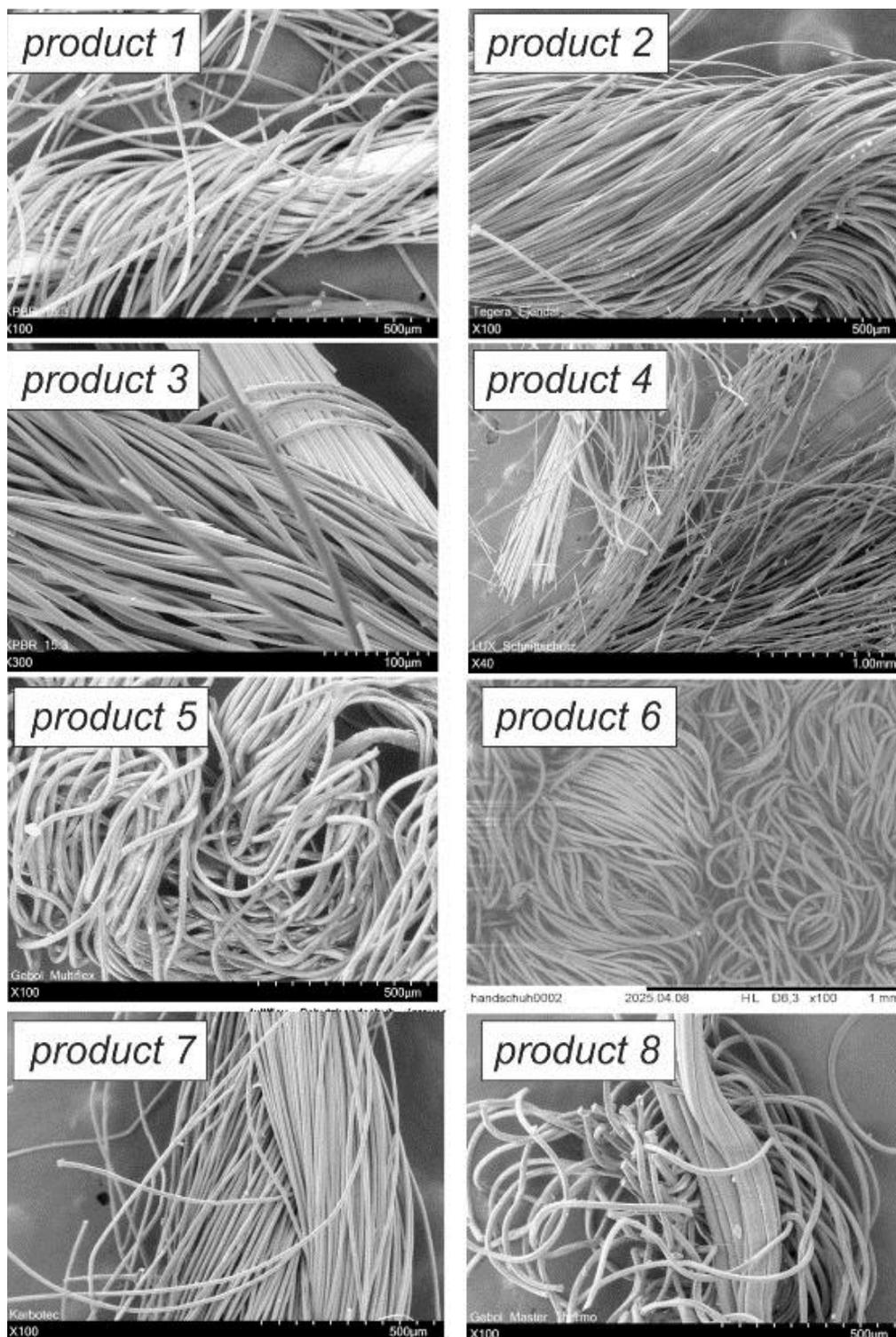


Figure 2 – Microscopic images of the different protective gloves recorded with scanning electron microscopy in different magnifications

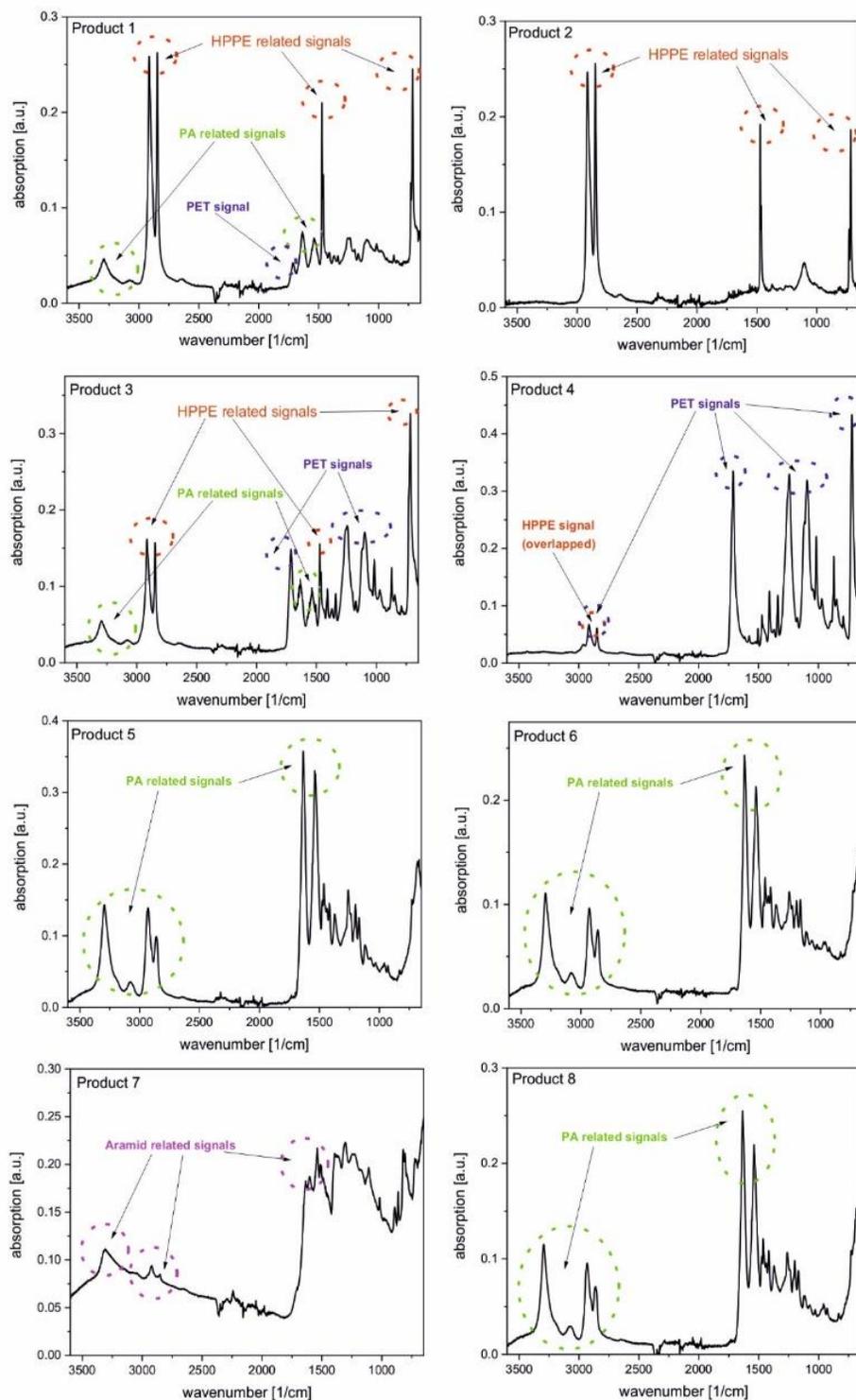


Figure 3 – IR spectra of the different protective gloves

are probable glass fibers which show a different material contrast in the electron microscope compared to the other synthetic fibers, because glass fibers contain chemical elements of higher atomic weight as silicon, aluminum or calcium [Mahltig & Grethe, 2022]. The glass fibers are probable introduced in the product to improve the cut-resistance. Surprising is the detection of glass fibers in product 1, because this component is not mentioned in supplier information.

IR spectroscopic investigations

IR spectra determined from the eight considered products are shown in Figure 3. These IR spectra are taken from uncoated areas of the gloves and the most prominent IR signals are marked according to polymer composition [Mahltig, 2021]. For products 1 and 2, HPPE as main fiber component can be clearly identified. For product 1, also small signals related to ester and amide groups are determined, which can be related to finishing applications or the back of the PUR coating. The IR spectrum of product 3, exhibit IR signals related to at least three fiber components – HPPE, PET and PA. Due to the presence of PET and PA in larger amounts, the HPPE signals are partly covered by IR signals from other fibers. PET is clearly identified and also part of the supplier given product composition. The determined PA is not part of the supplier information on fiber composition and might be related to finishing applications or the back of the PUR coating. The IR spectrum of product 4 is mainly determined by the signals from PET fibers. Only the small signals around 2900 cm^{-1} can be assigned to the HPPE fibers. The IR spectra of products 4, 5 and 8 are almost similar and can be directly set in correlation to the main fiber component Nylon [Mahltig, 2021]. The also mentioned component elastane cannot be identified by these IR-measurements. The IR spectrum from product 7 can be identified to aramid fibers by comparison to literature [Mahltig, 2021].

Summary & conclusions

Protective and working gloves are functional textile products often produced by a combination of different fiber types – conventional fibers and advanced fibers. By this combination protective properties against mechanical influences, heat or cold can be achieved. The current paper gives a short introduction to fiber types used and present eight product examples – commercially available protective gloves. For achieving cut-resistance, four of the products contain HPPE fibers, which are in some cases reinforced by addition of glass fibers. In comparison, for products with better thermal stability nylon or aramid fiber materials are used instead of HPPE. The use of PUR and nitrile coatings is done for most of the products to improve the grip and probable also for achieving additional protective effects. In four products, small amounts of elastane fiber are added (up to 5%) to improve fitting and textile comfort. For some products, additional components not claimed by the suppliers can be identified by methods like SEM and IR spectroscopy. Finally, it can be concluded that on the market a broad range of different protective gloves are available made from very different fiber and coating materials. The achieved protective properties can be realized using different fiber types in different combinations. There is not the single best and only used fiber composition for a protective glove.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest in the authorship or publication of this paper. All product and company names mentioned in this article may be trademarks of their respected owners, even without labeling.

Funding

The presented work and results are realized without special funding. All presented functional textile materials are purchased on the free market.

REFERENCES

- Boschmeier, E., Archodoulaki, V.-M., Schwaighofer, A., Lendl, B. and Bartl, A. (2023). A novel quantification tool for elastane in textiles using thermal treatment. *Polym. Testing*, vol. 118, pp. 107920.
- Chattopadhyay, D.K, Sreedhar, B. and Raju, K.V.S.N. (2005). Thermal stability of chemically crosslinked moisture-cured polyurethane coatings. *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 95, pp. 1509–1518.
- Dolez, P.I., Marsha, S. and McQueen, R.H. (2022). Fibers and textiles for personal protective equipment: review of recent progress and perspectives on future development. *Textiles*, vol. 2, pp. 349–381.

Ertekin, M. and Ertekin, G. (2020). Characterization of cut resistance and comfort properties of protective gloves on different materials. *The Journal of the Textile Institute*, vol. 111, pp. 155–163.

Khanlari, P., Ghasemi, F. and Heidarimoghdam, R. (2023). Protective gloves, hand grip strength, and dexterity tests: A comprehensive study. *Heliyon*, vol. 9, pp. e13592.

Mahltig, B. (2021). High-performance fibres – a review of properties and IR-spectra. *Tekstilec*, vol. 64, pp. 96–118.

Mahltig, B. and Grethe, T. (2022). High-performance and functional fiber materials – a review of properties, scanning electron microscopy SEM and electron dispersive spectroscopy EDS. *Textiles*, vol. 2, pp. 209–251.

Miskiewicz, P., Frydrych, I., Pawlak, W. and Cichochka, A. (2019). Modification of surface of basalt fabric on protecting against high temperature by the method of magnetron sputtering. *AUTEX Res. J.*, vol. 19, pp. 36–43.

Textor, T. and Mahltig, B. (2010). Nanosols for preparation of antistatic coatings simultaneously yielding water and oil repellent properties for textile treatment. *Materials Technology*, vol. 25, pp. 74–80.

Wallenberger, F.T. (2010). *Commercial and experimental glass fibers*, Wallenberger, F.T., P.A. Bingham (Eds.), Fiberglass and glass technology, Springer, Heidelberg, pp. 3–90.

Zhai, Y., Mao, L., Shen, Y. and Yan, X. (2021). Research Progress of Cut-Resistance Textile Materials. *Frontiers in Chemistry*, vol. 9, pp. 745467.

Zhu, F.L. and Feng, Q.Q. (2020). Preparation, thermal properties and permeabilities of aluminum-coated fabrics destined for thermal radiation protective clothing. *Fire and Materials*, vol. 44, pp. 844–853.

Информация об авторах

Information about the authors

Ханна Хильтманн

Бакалавр наук, факультет текстильных и швейных технологий, Университет прикладных наук Нижнего Рейна, Германия.

Паула Хоффманн

Бакалавр наук, факультет текстильных и швейных технологий, Университет прикладных наук Нижнего Рейна, Германия.

Лина Пипер

Бакалавр наук, факультет текстильных и швейных технологий, Университет прикладных наук Нижнего Рейна, Германия.

Борис Малтиг

Профессор, факультет текстильных и швейных технологий, Университет прикладных наук Нижнего Рейна, Германия.

E-mail: boris.mahltig@hs-niederrhein.de

Hannah Hiltmann

Bachelor of Science, Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences, Germany.

Paula Hoffmann

Bachelor of Science, Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences, Germany.

Lina Pieper

Bachelor of Science, Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences, Germany.

Boris Mahltig

Prof. Dr., Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences, Germany.

E-mail: boris.mahltig@hs-niederrhein.de

Исследование способов подготовки конопляного волокна для армирования текстильных биокomпозитов**В. В. Иванова,***Витебский государственный технологический университет,***Н. В. Скобова***Республика Беларусь*

Аннотация. Современные тенденции в области наукоемких производств, импортозамещения и экологической безопасности предъявляют повышенные требования к материалам технического назначения. Ключевыми критериями становятся не только традиционные показатели (гигиеничность, многофункциональность, стоимость), но и такие характеристики, как экологичность, регенерируемость и утилизируемость. Значительный научный и практический интерес представляют биокomпозиционные материалы, основу которых составляет возобновляемое природное сырье. Республика Беларусь обладает потенциалом для развития данного направления, являясь одним из крупнейших производителей льняного волокна. Разрабатываемые биокomпозиты перспективны для применения в производстве биоматов, фильтров, прокладочных материалов в строительстве, автомобилестроении, обувной и швейной промышленности.

Целью работы является оценка влияния способов предварительной подготовки конопляного волокна на его структурно-морфологические свойства для повышения эффективности последующей модификации путем пропитки водными нанодисперсиями для гидрофобизации волокон при их использовании в качестве армирующего наполнителя в биокomпозитах.

Проведено сравнительное исследование трех методов предварительной обработки – ферментативного, щелочного и комбинированного (ферментативно-щелочного). В результате исследований установлено, что предложенная биохимическая модификация вызывает элементаризацию комплексных волокон вследствие разрушения лигно-пектинового комплекса. Это подтверждается снижением среднего диаметра волокон и смещением пика их распределения в сторону меньших значений.

Ключевые слова: биокomпозиты, лубяное волокно, котонизация, ферментативная обработка, армирующий материал, биоотварка.

Информация о статье: поступила 4 декабря 2025 года.

Study of methods for preparing hemp fiber for reinforcing textile biocomposites**Valeriya V. Ivanova,***Vitebsk State Technological University,***Natallia V. Skobova***Republic of Belarus*

Abstract. Modern trends in knowledge-intensive manufacturing, import substitution, and environmental safety place increased demands on technical materials. Key criteria include not only traditional indicators (hygiene, versatility, cost), but also characteristics such as environmental friendliness, regeneration, and recyclability. Biocomposite materials based on renewable natural raw materials are of significant scientific and practical interest. Belarus has the potential to develop this area, being one of the largest producers of flax fiber. The biocomposites being developed are promising for use in the production of biomats, filters, and gasket materials in the construction, automotive, footwear, and clothing industries.

The aim of the work is to study the influence of methods of preliminary preparation of hemp fiber on its structural and morphological properties in order to increase the efficiency of subsequent modification by impregnation with aqueous nanodispersions for hydrophobization of fibers when they are used as a reinforcing filler in biocomposites.

A comparative study of three pretreatment methods – enzymatic, alkaline, and combined (enzymatic-alkaline) – was conducted. The research revealed that the proposed biochemical modification causes the elementarization of complex

fibers due to the destruction of the ligno-pectin complex. This is confirmed by a decrease in the average fiber diameter and a shift in the peak of their distribution toward smaller values.

Keywords: biocomposite, bast fiber, cottonization, enzymatic treatment, reinforcing material, bioscouring.

Article info: received December 4, 2025.

Введение

В современных условиях перехода к экологизации промышленности все большую актуальность приобретает создание и внедрение биоразлагаемых материалов из возобновляемых источников сырья. Одним из таких направлений является разработка биокomпозитов на основе природных армирующих наполнителей и полимерных матриц [Faruk et al., 2012].

Биокomпозиты находят широкое применение в современных отраслях промышленности, таких как авиокосмическая, автомобильная, судостроительство, медицина, производство спортивного инвентаря и другие (рисунок 1) [Gurunathan, Mohanty and Nayak, 2015]. Значительный потенциал биокomпозиционные материалы демонстрируют в текстильной промышленности, где их применение направлено на разработку функциональных продуктов. Их используют для создания спе-

циализированной рабочей одежды с повышенными барьерными и прочностными свойствами, экологичные материалы для упаковки, а также для производства биоматов, фильтров, препрегов, основ композиционных и прокладочных материалов для различных отраслей промышленности.

Композиционные материалы представляют собой гетерогенные системы, полученные путем сочетания двух или более отдельных компонентов, сохраняющих свои индивидуальные свойства. Составляющие композита не растворяются и не смешиваются друг с другом, образуя ярко выраженную границу раздела фаз, синергетическое взаимодействие на этой границе придает данным материалам уникальные эксплуатационные характеристики [Ali et al., 2018].

Классификация биокomпозитных материалов в зависимости от происхождения компонентов предполагает



Рисунок 1 – Ассортимент волокнистых биокomпозитов

Figure 1 – Range of fibrous biocomposites

их разделение на две основные категории: полностью биогенные композиты, где все составляющие (армирующие элементы и матрица) биоразлагаемы и производятся из возобновляемого сырья, а также гибридные системы, содержащие как возобновляемые, так и нефтехимические компоненты (рисунок 2) [Reças, P. et al, 2018].

Такие волокна, как углеродные, стеклянные и арамидные традиционно выступали основными армирующими материалами в композитах, обеспечивая их высокие эксплуатационные характеристики. Однако их производство и утилизация сопряжены с существенными экологическими рисками, обусловленными зависимостью от невозобновляемых ресурсов, высокой энергоемкостью процессов и увеличением нагрузки на окружающую среду. Дополнительным ограничивающим фактором выступает высокая стоимость этих волокон, особенно углеродных, что актуализирует поиск более экономически эффективных и экологически безопасных альтернатив.

В качестве перспективного решения для армирования биокompозитов рассматриваются натуральные волокна [Севастьянов, Д.В. и др., 2017]. Среди них особый интерес представляют лубяные волокна (лен, конопля, джут и др.), которые не только обеспечивают высокую удельную прочность и жесткость композитов, но и обладают такими преимуществами, как возобновляемость, биоразлагаемость и низкая углеродная эмиссия [Yan,

Chouw and Jayaraman, 2014]. На фоне повышенного внимания к технической конопле как к многопрофильной и экологичной сельскохозяйственной культуре [Гущина, В.А., Смирнов, А.А. и Смирнов, А.Д., 2020; Дубровин, М.С., 2022; Попов, Р.А., 2019; Руденко, В.Е. и Ашмарина, Т.И., 2023], в Республике Беларусь также осуществляется поиск возможностей ее эффективного применения, что включает как адаптацию передового зарубежного опыта, так и инициацию собственных научных исследований в области селекции и агротехники, а также разработку ресурсоэффективных технологий ее переработки для последующего использования в текстильной, медицинской и других отраслях промышленности.

Республика Беларусь обладает потенциалом для развития производства конкурентоспособных и экологически безопасных материалов на основе лубяных волокон, [Ленькова, Р.К., 2019; Алеева, Лепилова и Кокшаров, 2020]. Однако недостатки лубяных волокон, такие как высокая гигроскопичность, ограниченная адгезия к полимерным матрицам, требуют разработки эффективных методов их модификации.

Модификация должна быть направлена на главные гидрофильные компоненты лубяных волокон и привести к увеличению площади контакта с гидрофобной матрицей. Существуют следующие методы модификации:

- химические: щелочная обработка (происходит удаление гемицеллюлозы, лигнина, пектина, уменьшается диаметр волокна и увеличивается шероховатость,



Рисунок 2 – Классификация биокompозитов
Figure 2 – Classification of biocomposites

что улучшает адгезию к матрице, но может немного увеличить доступность -ОН групп]; силенизация (обеспечивает гидрофобизацию волокон), ацелирование (ацетильные группы (-COCH₃) замещают водород в гидроксильных группах целлюлозы, значительно снижая полярность и сродство к воде) [Bledzki, Mamun and Volk, 2010; Li, Tabil and Panigrahi, 2007];

– физико-химические методы (плазменная обработка волокна) [Bledzki and Gassan, 1999];

– гидрофобные покрытия и пропитки: создают барьерный слой на поверхности волокна, предотвращающий прямой контакт воды с целлюлозой, например, пропитка водными дисперсиями с наночастицами диоксида кремния, оксида цинка (заполняют микропоры и капилляры в структуре волокна); биополимерные покрытия (полилактид (PLA) образует тонкую гидрофобную пленку, при этом сохраняя «зеленый» статус материала) [Das and Chakraborty, 2018].

Традиционные химические методы обработки волокна, обеспечивая высокое качество, часто являются энергоемкими и наносят ущерб окружающей среде, что противоречит концепции «зеленых» технологий [Ma, H. et al., 2023]. В этой связи разработка экологически безопасных, или «зеленых» методов подготовки лубяного волокна, таких как ферментативная обработка, представляется важным направлением научных исследований как в Беларуси, так и за рубежом [Gurunathan, Mohanty and Nayak, 2015; Li, Tabil and Panigrahi, 2007].

В настоящее время вопросы, связанные с применением ферментативных комплексов для обработки лубяных волокон, в основном, связаны с подготовкой волокна для расщепления в технологии производства пряжи для получения тканей одежного назначения, где показатель водопоглощения способствует повышению гигиенических свойств материалов [Котко, К.А., Ясинская, Н.Н. и Скобова Н.В., 2020]. Очевидно, что ферментативная обработка не снижает, а повышает водопоглощение лубяного волокна, за счет удаления липидов (воска), пектинов и аморфных полисахаридов, обнажая и делая доступными огромное количество гидроксильных (-ОН) групп целлюлозы, которые активно сорбируют воду. Поэтому ферментативную обработку следует рассматривать как подготовительную (предварительную) операцию для последующей модификации волокон [Akin, 2013].

Целью работы является оценка влияния способов предварительной подготовки конопляного волокна на

его структурно-морфологические свойства для повышения эффективности последующей модификации путем пропитки водными нанодисперсиями для гидрофобизации волокон при их использовании в качестве армирующего наполнителя в биокompозитах.

Методы и объекты исследований

Объектом исследования является длинное техническое конопляное волокно, характеризующееся высоким содержанием лигно-пектинового комплекса, воскоподобных веществ, отличается более жесткой структурой по сравнению с льняным волокном.

Ферментативная обработка – это высокоселективный процесс, каждый фермент действует на конкретный компонент волокна. Липазы, эстеразы воздействуют на жировосковые вещества, что приводит к улучшению смачиваемости, за счет удаления гидрофобного барьера, и позволяет последующим ферментам (пектиназе, целлюлазе) и реагентам эффективно проникать в структуру, а также подготавливает поверхность для адгезии к полимерной матрице в композите. Пектолитические ферменты действуют на основные межклеточные и клеящие вещества, цементирующие луб, приводят к расщеплению технического волокна на более тонкие пучки и элементарные волокна, повышая тонины и гибкость волокна, уменьшая жесткость. Эндоглюканызы, экзоглюканызы, β -глюкозидазы приводят к разъеданию аморфных прослоек внутри элементарного волокна, вызывая его расщепление на микрофибриллы, повышаются удельная поверхность, шероховатость, гибкость [Akin, 2013].

Для подготовки конопляного волокна использовались ферментные препараты целлюлазного и пектолитического действия производства ООО «Фермент» – белорусского производителя высокоэффективных ферментных препаратов для легкой и пищевой промышленности и сельского хозяйства. В качестве контрольного образца подготавливали волокна по традиционной технологии – щелочная отварка с использованием гидроксида натрия.

Экспериментальные исследования проводились в лабораторных условиях кафедры экологии и химических технологий УО «ВГТУ». Предлагаются три технологические схемы обработки волокна:

– схема 1: ферментативная обработка полиферментной композицией (рисунок 3);

– схема 2: щелочная обработка водным раствором NaOH в присутствии ПАВ (рисунок 4);



Рисунок 3 – Технологический режим 1
Figure 3 – Technological mode 1

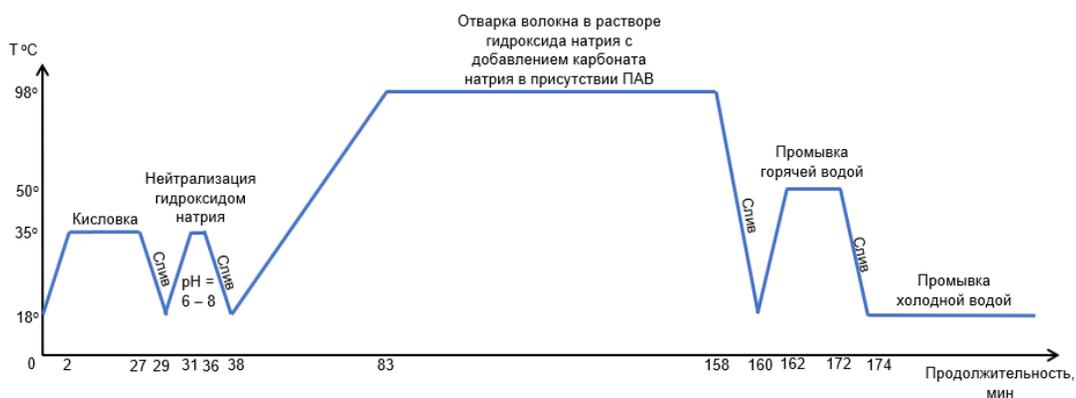


Рисунок 4 – Технологический режим 2
Figure 4 – Technological mode 2



Рисунок 5 – Технологический режим 3
Figure 5 – Technological mode 3

– схема 3: комбинированная ферментативно-щелочная обработка, (последовательно ферментативная обработка и далее щелочная в присутствии ПАВ (рисунок 5)).

Для оценки влияния процесса отварки на геометрические размеры волокон проводились измерения их диаметра с использованием микроскопа Альтами (увеличение 50x) с последующей обработкой изображений в программном обеспечении. Для анализа отбирали пробы из разных мест навески и измеряли 200 волокон для обеспечения статистической достоверности результатов.

Результаты исследований

Для оценки эффективности расщепления конопляного волокна проведен анализ влияния различных методов обработки на геометрические характеристики волокон.

Статистический анализ распределения диаметра волокон до и после отварки, представленный в виде бокс-диаграммы (рисунок 6), показал существенные изменения. После отварки наблюдается снижение среднего значения диаметра у всех образцов. Отмечается сокращение размаха и общего диапазона вариабельности показателей, что свидетельствует о разделении комплексных волокон на элементарные по диаметру

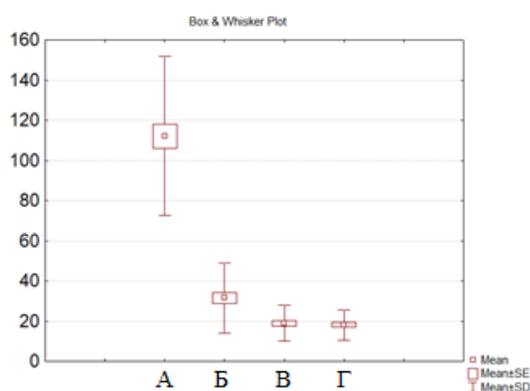


Рисунок 6 – Бокс-диаграмма средних значений диаметра волокон, где А – до обработки, Б – ферментативная обработка, В – комбинированная обработка, Г – щелочная обработка

Figure 6 – Box plot of average fiber diameter values: A – before treatment, B – enzymatic treatment, C – combined treatment, D – alkaline treatment

после обработки.

Проведен частотный анализ распределения волокон по диаметру (рисунок 7). Анализ гистограмм демонстрирует значительное возрастание доли тонких волокон в общей выборке после отварки по предложенным схемам. Наблюдается левосторонняя асимметрия столбчатых диаграмм Б, В и Г. Полученные данные указывают на выявленные изменения в структуре волокна: благодаря разрушению лигно-пектинового комплекса произошло разделение технических волокон на более тонкие и однородные элементарные волокна.

Ферментативная обработка привела к увеличению числа волокон в группе с диаметром от 11,2 до 33,6 мкм. Данный метод, являясь щадящим, обеспечивает селективное удаление в основном пектиновых веществ при минимальном воздействии на целлюлозную основу волокна, что и объясняет сохранение большего диаметра (Лисовский и Ясинская, 2022).

Высокая степень элементаризации комплексного волокна обеспечивается растворением примесей под действием щелочных агентов, о чем свидетельствует появление многочисленной группы волокон с диаметром 7–16,7 мкм (гистограмма В). Щелочная обработка конопля проводилась в мягких условиях: концентрация щелочи – не более 2 г/л длительность процесса – до 60 мин, благодаря чему не происходит гидролитическая деструкция целлюлозы, наблюдается удаление примесей из волокна [Стокозенко и др., 2017].

Комбинированный способ обработки позволил уменьшить диаметр волокон до диапазона 9–23 мкм. Предварительная ферментативная обработка подготавливает волокно, разрушает основу пектинового матрикса, что позволяет на последующей стадии использовать щелочь в более щадящем режиме. Это позволяет эффективно удалить оставшиеся связующие компоненты, избежав излишнего повреждения и утончения целлюлозных волокон, характерного для агрессивной щелочной обработки.

Внешний вид волокон до и после отварки представлен на рисунке 8.

Для оценки гидрофильных свойств модифицированного волокна применены два метода оценки. Метод 1 реализован в соответствии с ГОСТ 5556–2022 «Вата медицинская гигроскопическая» и предполагал измерение водопоглощения за 10 минут. Метод 2 – в соответствии с ГОСТ 4598–2018 «Плиты древесно-волоконистые мокрого способа производства», образцы выдерживались в ди-

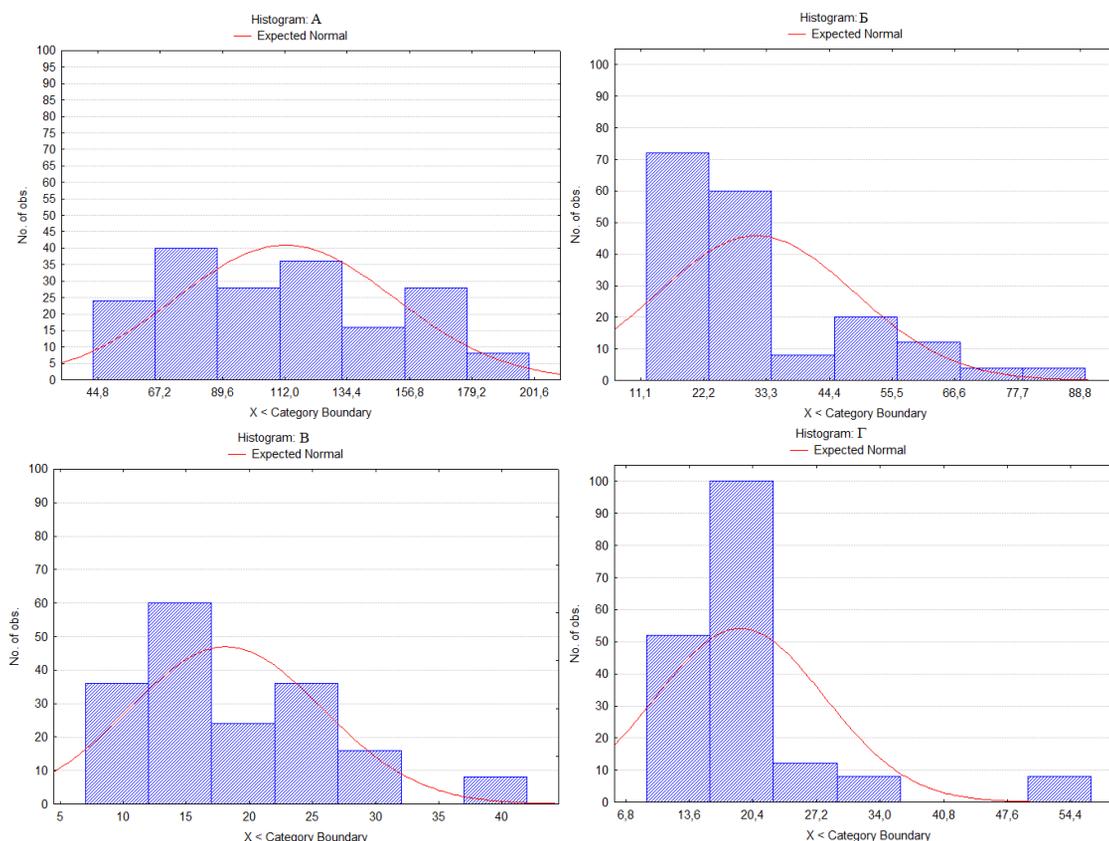


Рисунок 7 – Частотный анализ распределения волокон по диаметру до и после обработки:
гистограмма А – до обработки, гистограмма Б – ферментативная обработка,
гистограмма В – щелочная обработка, гистограмма Г – комбинированная обработка
Figure 7 – Frequency analysis of fiber distribution by diameter before and after treatment:
histogram A – before treatment, histogram B – enzymatic treatment, histogram C – alkaline treatment,
histogram D – combined treatment

стиллированной воде 120 минут, после чего избыточная влага стекла в течение 10 минут перед взвешиванием. Количество повторных испытаний $n = 5$. Водопоглощение (W) модифицированного волокна рассчитывали по формуле:

$$W = \frac{m_1 - m}{m}, \quad (1)$$

где m_1 , m – масса образца после выдержки в воде и масса сухого образца соответственно, г.

Результаты исследований представлены в таблице 1.

Установлено, что все виды обработки оказывают заметное влияние на способность волокна поглощать воду, значительно превышая исходные показатели. Максимальный эффект водопоглощения достигается после щелочной обработки, что обусловлено удалением гидрофобных компонентов и увеличением доступной поверхности волокна (Arguzanova, N.B. and Kakhrmanov, N.T., 2021). Комбинированная ферментативно-щелочная обработка также демонстрирует высокий результат (привес на 74 % и 81 % по отношению к суровому волокну для методов 1 и 2 соответственно), однако уступает по абсолютным значениям щелочной обработке.

Ферментативная обработка увеличивает водопоглощение волокна на 14 % по методу 1 и на 22 % по методу 2. Это позволяет предположить, что ферментативное воздействие в выбранных условиях в большей степени



Рисунок 8 – Изображение волокон до (а) и после ферментативной (б), щелочной (в),
комбинированной (г) обработки
Figure 8 – Image of fibers before (a) and after enzymatic (b), alkaline (c), combined (d) treatment

Таблица 1 – Показатель водопоглощения модифицированного волокна
Table 1 – Water absorption index of modified fiber

Показатель	Ферментативная обработка	Щелочная обработка	Комбинированная обработка
По методу 1			
Среднее	2,182	3,846	3,316
Среднеквадратическое отклонение	0,251	0,173	0,228
Дисперсия	0,063	0,030	0,052
Водопоглощение волокна до обработки	1,891		
По методу 2			
Среднее	2,325	3,999	3,446
Среднеквадратическое отклонение	0,216	0,251	0,389
Дисперсия	0,047	0,063	0,151
Водопоглощение волокна до обработки	1,908		

направлено на специфическую модификацию. Для улучшения сорбционных характеристик конопляного волокна необходимо удалить из него гидрофобные вещества, к которым относятся лигнин и воскообразные вещества, затрудняющие адсорбцию воды и замедляющие скорость ее проникновения в глубь волокна. Применение композиции ферментов, включающих целлюлазы

и пектиназы, приводит к удалению лигнина, благодаря нарушению стабильной системы межмолекулярных связей системы «целлюлоза – лигнин – полисахариды» в результате гидролитического распада пектиновых веществ и гемицеллюлоз (пектиновые вещества через боковые цепочки соединены с гемицеллюлозами, а затем – с волокнами целлюлозы). При этом увеличение гид-

рофильности волокна обеспечивается, во-первых, частичным удалением гидрофобных компонентов (лигнин, гемицеллюлозы), содержащихся в срединных пластинках, во-вторых, увеличением его пористости как за счет вымывания лигнина, так и в результате селективного гидролиза пектиновых веществ, в-третьих, освобождением активных групп целлюлозы для связывания воды [Никифорова, Козлов и Багровская, 2005].

Сравнительный анализ двух методов измерения водопоглощения показал близкие по значению показатели. Поэтому, в целях снижения трудоемкости процесса рекомендуется применять метод 1, т. к. на проведение испытания затрачивается 10 минут, по истечении которого уже можно судить о поведении образца, что подтверждается в дальнейшем при более длительном контакте с влагой.

Анализ полученных результатов

Способ обработки волокна связан с механизмами воздействия применяемых препаратов на структурные компоненты клеточной стенки растительного волокна.

Анализируя полученные закономерности, с точки зрения водопоглощения, ферментативная обработка способствует умеренному росту водопоглощения (на 14 % за 10 минут и на 22 % за 120 минут) по сравнению с суровым волокном. Это связано с тем, что основные гидрофобные компоненты – воск и лигнин – остаются частично сохранными на поверхности волокна, ограничивая доступ воды к гидроксильным группам целлюлозы. Тем не менее, частичное освобождение поверхности от пектинов способствует улучшению смачиваемости, что положительно влияет на адгезию к полимерным матрицам.

Воздействие гидроксида натрия на волокно является классическим примером химической модификации. Щелочь активно проникает в аморфные области волокна, вызывая деакилирование лигнина, гидролиз эфирных и гликозидных связей, а также растворение пектинов и гемицеллюлоз. Этот процесс сопровождается интенсивным набуханием волокна, разрыхлением его структуры и последующим разделением пучков на тонкие элементарные волокна [Антонова, Н.М., Симонов, А.И. и Линьков, И.С., 2024]. Именно это объясняет наиболее значительное снижение диаметра – до диапазона 7–16,7 мкм.

Удаление лигнина и других компонентов приводит к резкому увеличению количества свободных гидроксильных групп (-ОН) на поверхности волокна. Кроме

того, утончение волокон многократно увеличивает их удельную поверхность [Праджапати, Х., Тевати, А. и Диксит, А., 2022; Arzumanova, N.B. and Kakhramanov, N.T., 2021]. Оба фактора в совокупности обуславливают максимальное водопоглощение среди всех исследуемых методов. Высокая гидрофильность благоприятствует сильному взаимодействию с полимерными матрицами, что важно для формирования прочного межфазного слоя в биокомпозите.

Однако следует учитывать, что щелочная обработка может привести к частичному разрушению β -1,4-гликозидных связей целлюлозы, особенно при длительном времени или высокой концентрации NaOH, что снижает механическую прочность волокна [Праджапати, Х., Тевати, А. и Диксит, А., 2022]. Кроме того, экологическая нагрузка от использования щелочных растворов и необходимость их нейтрализации делают данный метод менее соответствующим принципам устойчивого развития. Однако в данном исследовании применялись щадящие режимы обработки, что позволит сохранить прочностные характеристики волокна.

Комбинированная ферментативно-щелочная схема обработки реализует многоступенчатый подход, в котором каждый этап дополняет предыдущий. Первоначальная ферментативная стадия разрушает пектиновый матрикс, ослабляя структурную целостность пучка и создавая «подготовленную» поверхность для последующего воздействия щелочи. Это позволяет проводить щелочную обработку в более мягких условиях, что снижает риск повреждения целлюлозы. Результаты показывают, что комбинированный метод обеспечивает средние значения диаметра (9–23 мкм) и высокое водопоглощение (3,32–3,45 г), что свидетельствует о хорошем сочетании эффективности очистки и сохранения структурной целостности. Этот этап требует более тщательной оптимизации параметров процесса – очередности стадий, времени, температуры и состава растворов, для достижения эффекта, близкого к щелочной обработке, при одновременном снижении расхода химических препаратов, энергозатрат и экологической нагрузки на сточные воды.

Ферментативная обработка относится к «зелёной» технологии, основанной на использовании специфических белковых катализаторов – полиферментных композиций целлюлазного и пектолитического действия. Эти ферменты действуют избирательно, преимущественно гидролизуют пектиновые вещества, локализованные в

срединной пластинке между элементарными волокнами. Пектины выполняют роль природного «клея», обеспечивающего объединение отдельных волокон в технические пучки. Их удаление приводит к ослаблению межволоконных связей и частичному разделению пучков, однако процесс не затрагивает значительную часть лигнина и не разрушает глубоко упакованную целлюлозную основу. Именно этот механизм объясняет сохранение относительно крупных диаметров волокон (11,2–33,6 мкм) [Лисовский Д.Л. и Ясинская Н.Н., 2022].

Выводы

На основе комплекса исследований свойств волокон установлено:

- примененные способы химической и биохимической подготовки конопляных волокон способствуют изменению структуры волокна: происходит расщепление технического волокна до элементарных волокон, что подтверждается снижением среднего значения диаметра и левосторонним смещением максимума распределения в область меньших значений;
- предварительная обработка способствовала удалению гидрофобных примесей волокна, повысилась удельная поверхность волокон, благодаря чему показатель водопоглощения увеличился;

– щелочной и комбинированный способ обработки привели к увеличению доступности -ОН групп, что подтверждается максимальным показателем водопоглощения;

– ферментативная обработка волокна проводилась согласно базовому принципу построения композиции: пектиназа в сочетании с липазой, с последующей обработкой целлюлазой, благодаря этому максимально разрушен межклеточный матрикс с минимальным воздействием на само волокно, удалены жировосковые вещества. Минимальная концентрация целлюлаз привела к легкой очистке поверхности волокна, к увеличению адгезионной площади. Комплексная обработка волокна, являясь более экологичным вариантом обработки в «мягких» условиях, позволила увеличить водопоглощение волокна, но в наименьшей степени из сравниваемых, без их чрезмерного повреждения;

– примененные способы предварительной обработки конопляного волокна позволили изменить морфологию поверхности волокна, что может повысить эффективность последующей модификации волокон путем пропитки водными нанодисперсиями для гидрофобизации волокон.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Алеева, С.В., Лепилова, О.В. и Кокшаров, С.А. (2020). Метод получения высокопротеиновых фитокомпозигов с использованием вторичных продуктов льнопереработки. *Материалы и технологии*, 5 (1), pp. 19–25. <https://doi.org/10.24412/2617-149X-2020-1-19-25>.

Антонова, Н.М., Симонов, А.И. и Линьков, И.С. (2024). Влияние щелочной обработки целлюлозы на ее структуру и морфологию. *Инженерный вестник Дона*, 4 (112), с. 51.

Гущина, В.А., Смирнов, А.А. и Смирнов, А.Д. (2020). Семенная продуктивность конопляной посевной среднерусского экотипа сорта сурская при выращивании в годы с различными гидротермическими условиями. *Нива Поволжья*, 2 (55), с. 34–39.

Дубровин, М.С. (2022). Развитие современного производства продукции из технической конопля. *Международный научно-исследовательский журнал*, 4-4 (118), с. 120–124.

Котко, К.А., Ясинская, Н.Н. и Скобова, Н.В. (2020). Нетрадиционный способ придания мягкости хлопкольным махровым изделиям. *Материалы и технологии*, 5 (1), с. 7–10. doi: 10.24412/2617-149X-2020-1-7-10.

Ленькова, Р.К. (2019). Совершенствование направлений развития льноводства в республике Беларусь. *Проблемы экономики*, 2 (29), pp. 114–120.

Лисовский Д.Л., Ясинская Н.Н. (2022). Влияние ферментной обработки на свойства льняного котонина. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2(43), pp. 94–103. <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-94-103>.

Никифорова, Т.Е., Козлов, В.А. и Багровская, Н.А. (2005). Изучение влияния ферментативной обработки короткого льняного волокна на его сорбционную способность. *Химия растительного сырья*, (4), С. 45–52.

Попов, Р.А. (2019). Состояние, проблемы и возможности для развития отечественного коноплеводства. *Агротехника и энергообеспечение*, 4 (25), С. 42–52.

Праджапати, Х., Тевати, А. и Диксит, А. (2022). Достижения в композитах, армированных натуральными волокнами. Тематический обзор. *Механика композитных материалов*, 58 (3), С. 455–504.

Руденко, В.Е., Ашмарина, Т.И. (2023). Современное состояние отрасли коноплеводства в России. *Естественно-гуманитарные исследования*, 6 (50), С. 414–417.

Севастьянов, Д.В., Сутубалов, И.В., Дасковский, М.И. и Шеин, Е.А. (2017). Полимерные биокompозиты на основе био-разлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор). *Авиационные материалы и технологии*, 4 (49), pp. 42–50.

Стокозенко, В.Г., Морыганов, А.П., Ларин, И.Ю. и Воронина, Е.Р. (2017). Исследование влияния щелочной обработки на состав и свойства элементаризованного льняного волокна. *Химия растительного сырья*, (2), С. 143–148.

Akin, D.E. (2013). Linen most useful: perspectives on structure, chemistry, and enzymes for retting flax. *ISRN Biotechnology*, (4), p. 23.

Ali, A., Shaker, K., Nawab, Y., Jabbar, M., Hussain, T., Militky, J. and Baheti, V. (2018). Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites – A review. *Journal of Industrial Textiles*, 48(1), pp. 215–273. <https://doi.org/10.1177/1528083716654468>.

Arzumanova, N.B. and Kakhramanov, N.T. (2021). Polymer biocomposites based on agro waste: Part I. source, classification, chemical composition and treatment methods of lignocellulosic natural fibers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, 4 (64), pp. 4–14.

Bledzki, A.K. and Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), pp. 221–274. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5).

Bledzki, A.K., Mamun, A.A. and Volk, J. (2010). Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*, 70(5), pp. 840–846.

Das, S. and Chakraborty, P. (2018). Influence of nanoclay on the hydrothermal behaviour of flax fibre-reinforced polylactic acid composites. *Journal of Polymer Research*, 25(7), p. 150.

Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. and Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), pp. 1552–1596. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>.

Gurunathan, T., Mohanty, S. and Nayak, S.K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>.

Li, X., Tabil, L.G. and Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), pp. 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>.

Ma, H., Guna, V., Raju, T., Murthy, A.N. and Reddy, N. (2023). Converting flax processing waste into value added biocomposites. *Industrial Crops and Products*, vol. 195. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116434>.

Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., and Leite, M. (2018). Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review. *Journal of Composites Science*, 2(4), pp. 66. <https://doi.org/10.3390/jcs2040066>.

Yan, L., Chouw, N. and Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites – A review. *Composites Part B: Engineering*, 56, pp. 296–317. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.014>.

REFERENCES

Aleeva, S.V., Lepilova, O.V. and Koksharov, S.A. (2020). Method for producing high-protein phytocomposites using secondary flax processing products [Metod poluchenija vysokoproteinovykh fitokompозитov s ispol'zovaniem vtorichnykh produktov l'noopererabotki]. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 5 (1), pp. 19–25 URL: <https://doi.org/10.24412/2617-149X-2020-1-19-25> (In Russian).

Antonova, N.M., Simonov, A.I. and Linkov, I.S. (2024). The Effect of Alkaline Treatment of Cellulose on its Structure and Morphology [Vliyanie shhelochnoj obrabotki celljulozy na ee strukturu i morfologiju]. *Inzhenernyj vestnik Dona = Engineering Herald of the Don*. 4 (112), p. 51 (In Russian).

Gushchina, V.A., Smirnov, A.A. and Smirnov, A.D. (2020). Seed Productivity of Hemp of the Central Russian Ecotype of the Surskaya Variety Grown in Years with Different Hydrothermal Conditions [Semennaja produktivnost' konopli posevnoj srednerusskogo jekotipa sorta surskaja pri vyrashivanii v gody s razlichnymi gidrotermicheskimi uslovijami]. *Niva Povolzh'ja = Niva Povolzhya*. 2 (55), P. 34–39 (In Russian).

Dubrovin, M.S. (2022). Development of Modern Production of Industrial Hemp Products. [Razvitie sovremennogo proizvodstva produkcii iz tehniceskoy konopli]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal = International Research Journal*, 4-4 (118), P. 120–124 (In Russian).

Kotko, K.A., Yasinskaya, N.N. and Skobova, N.V. (2020). An Unconventional Method of Imparting Softness to Cotton-Linen Terry Products [Netradicijonnyj sposob pridaniya mjagkosti hlopkol'njanym mahrovym izdelijam]. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*, 5 (1), p. 7–10. doi: 10.24412/2617-149X-2020-1-7-10 (In Russian).

Lenkova, R.K. (2019). Improving the Development Directions of Flax Growing in the Republic of Belarus [Sovershenstvovanie napravlenij razvitiya l'novodstva v respublike Belarus']. *Problemy jekonomiki = Problems of Economics*, 2 (29), pp. 114–120 (In Russian).

Lisovsky, D.L., Yasinskaya, N.N. (2022). The Effect of Enzyme Treatment on the Properties of Flax Cottonin. [UniversityVliyanie fermentnoj obrabotki na svojstva l'nanogo kotonina]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological*, 2(43), pp. 94–103. <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-2-94-103> (In Russian).

Nikiforova, T.E., Kozlov, V.A. and Bagrovskaya, N.A. (2005). Study of the effect of enzymatic treatment of short flax fiber on its sorption capacity. [Izuchenie vlijanija fermentativnoj obrabotki korotkogo l'nanogo volokna na ego sorbcionnuju sposobnost']. *Himija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of plant raw materials*. (4), pp. 45–52 (In Russian).

Popov, R.A. (2019). Status, problems and opportunities for the development of domestic hemp cultivation. [Sostojanie, problemy i vozmozhnosti dlja razvitiya otechestvennogo konoplevodstva]. *Agrotehnika i jenergoobespechenie = Agrotechnics and energy supply*. 4 (25), p. 42–52 (In Russian).

Prajapati, H., Tevati, A. and Dixit, A. (2022). Advances in natural fiber-reinforced composites. Thematic review [Dostizhenija v kompozitah, armirovannyh natural'nymi voloknami. Tematicheskij obzor]. *Mehanika kompozitnyh materialov = Mechanics of Composite Materials*. 58 (3), P. 455–504 (In Russian).

Rudenko, V.E., Ashmarina, T.I. (2023). Current State of the Hemp Cultivation Industry in Russia [Sovremennoe sostojanie otrasli konoplevodstva v Rossii]. *Estestvenno-gumanitarnye issledovaniya = Research in Natural Sciences and Humanities*. 6 (50), P. 414–417 (In Russian).

Sevastyanov, D.V., Sutubalov, I.V., Daskovsky, M.I. and Shein, E.A. (2017). Polymer Biocomposites Based on Biodegradable Binders Reinforced with Natural Fibers [Review]. [Polimernye biokompozity na osnove biorazlagaemyh svjazujushhih, armirovannyh natural'nymi voloknami (obzor)]. *Aviacionnye materialy i tehnologii = Aviation Materials and Technologies*. 4 (49), pp. 42–50 (In Russian).

Stokozenko, V.G., Moryganov, A.P., Larin, I.Yu. and Voronina, E.R. (2017). Study of the Effect of Alkaline Treatment on the Composition and Properties of Elementarized Flax Fiber [Issledovanie vlijanija shhelochnoj obrabotki na sostav i svojstva jelementarizovannogo l'nanogo volokna]. *Himija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of Plant Raw Materials*. (2), p. 143–148 (In Russian).

Akin, D.E. (2013). Linen most useful: perspectives on structure, chemistry, and enzymes for retting flax. *ISRN Biotechnology*, (4), p. 23.

Ali, A., Shaker, K., Nawab, Y., Jabbar, M., Hussain, T., Militky, J. and Baheti, V. (2018). Hydrophobic treatment of natural fibers and their composites – A review. *Journal of Industrial Textiles*, 48(1), pp. 215–273. <https://doi.org/10.1177/1528083716654468>.

Arzumanova, N.B., Kakhramanov, N.T. (2021). Polymer biocomposites based on agro waste: Part I. source, classification, chemical composition and treatment methods of lignocellulosic natural fibers. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.*, 4 (64), pp. 4–14.

Bledzki, A.K. and Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), pp. 221–274. [https://doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](https://doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5).

Bledzki, A.K., Mamun, A.A. and Volk, J. (2010). Barley husk and coconut shell reinforced polypropylene composites: The effect of fibre physical, chemical and surface properties. *Composites Science and Technology*, 70(5), pp. 840–846.

Das, S. and Chakraborty, P. (2018). Influence of nanoclay on the hydrothermal behaviour of flax fibre-reinforced polylactic acid composites. *Journal of Polymer Research*, 25(7), p. 150.

Faruk, O., Bledzki, A.K., Fink, H.P. and Sain, M. (2012). Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010. *Progress in Polymer Science*, 37(11), pp. 1552–1596. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2012.04.003>.

Gurunathan, T., Mohanty, S. and Nayak, S.K. (2015). A review of the recent developments in biocomposites based on natural fibres and their application perspectives. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 77, pp. 1–25. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.06.007>.

Li, X., Tabil, L.G. and Panigrahi, S. (2007). Chemical treatments of natural fiber for use in natural fiber-reinforced composites: A review. *Journal of Polymers and the Environment*, 15(1), pp. 25–33. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>.

Ma, H., Guna, V., Raju, T., Murthy, A.N. and Reddy, N. (2023). Converting flax processing waste into value added biocomposites. *Industrial Crops and Products*, vol. 195. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.116434>.

Peças, P., Carvalho, H., Salman, H., and Leite, M. (2018). Natural Fibre Composites and Their Applications: A Review. *Journal of Composites Science*, 2(4), pp. 66. <https://doi.org/10.3390/jcs2040066>.

Yan, L., Chouh, N. and Jayaraman, K. (2014). Flax fibre and its composites – A review. *Composites Part B: Engineering*, 56, pp. 296–317. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2013.08.014>.

Информация об авторах

Information about the authors

Иванова Валерия Викторовна

Аспирант, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: fomchenko31v@mail.ru

Скобова Наталья Викторовна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Valeriya V. Ivanova

Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: fomchenko31v@mail.ru

Natallia V. Skobova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Environmental Science and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: skobova-nv@mail.ru

Исследование влияния структуры и сырьевого состава шнуров на их разрывную нагрузку

Н. С. Зайцева^{1,2},
Д. Б. Рыклин²

¹ОАО «Лента», ²Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь

Аннотация. Ассортимент текстильной отрасли представлен не только тканями, неткаными материалами, специальной одеждой и обувью, но и текстильно-галантерейными изделиями, такими как ленты, тесьмы, шнуры и изделия из них. Современную одежду и обувь сложно представить без шнуров. А в условиях быстроразвивающегося технического прогресса задачи, которые ставит перед собой дизайнер при проектировании данной группы текстильной продукции, усложняются и персонализируются. Шнуры в ряде случаев представляют собой гибкие силовые элементы. Поэтому одним из важнейших показателей для выпуска шнуров обувных, бытовых, технических и прочих, характеризующих прочность шнуров, является их разрывная нагрузка.

Целью исследования является определение влияния структуры и сырьевого состава шнуров с одинаковыми заданными технологическими параметрами на их прочностные характеристики. Для проведения анализа группы шнуров были сформированы так, чтобы у них совпадали линейная плотность нити, состав сырья. Подбор плетеных и вязаных шнуров производился таким образом, чтобы линейная плотность шнура с заданными параметрами первой группы была максимально приближена к линейной плотности шнура из однотипного вида сырья второй группы.

Анализ данных эксперимента показал, что значения показателя прочности шнуров зависят не только от физико-механических показателей исходных нитей, используемых в шнуре, но и от масштабного фактора. Основными причинами снижения прочности шнура являются потеря прочности исходных компонентов в процессе переработки и сложное пространственное расположение нитей в шнуре, в результате чего их участки не параллельны оси шнура.

Полученные результаты имеют важное практическое значение для разработки шнуров из разных видов сырья с заданными параметрами и могут решать задачу по оптимизации производства текстильно-галантерейной промышленности в зависимости от целевых показателей прочности и массы изделия.

Ключевые слова: шнур плетеный и вязаный, разрывная нагрузка, масштабный фактор, коэффициент использования прочности нитей в шнуре.

Информация о статье: поступила 9 октября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Research of the influence of structure and raw material composition of cords on their breaking load

Natalia S. Zaitseva^{1,2},
Dzmitry B. Ryklin²

¹Lenta OJSC, ²Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus

Abstract. The textile industry's product range includes not only fabrics, nonwovens, special clothing and footwear, but also textile haberdashery products such as tapes, braids, cords, and other items made from them. It's hard to imagine modern clothing and footwear without cords. With rapidly advancing technology, the challenges of developing this group of textile products are becoming increasingly complex and require an individual approach.

In some cases, cords are flexible load-bearing elements. Therefore, their breaking load is one of the most important indicators for the production of shoe, household, technical and other cords as it characterizes their strength.

The aim of this study is to determine the influence of the structure and raw material composition of cords with identical

specified process parameters on their strength characteristics. For the analysis, groups of cords were formed so that they had the same linear density and raw material composition. The braided and knitted cords were selected so that the linear density of a cord with the specified parameters of the first group was as close as possible to the linear density of a cord made from the same type of raw material of the second group.

Analysis of the experimental data revealed that the cord strength values depend not only on the physical and mechanical properties of the original yarns used in the cord but also on the scale factor. The main causes of reduced cord strength are loss of strength of the original components during processing and the complex spatial arrangement of the yarns in the cord, resulting in sections not parallel to the cord axis.

These results have important practical implications for the development of cords from different types of raw materials with specified parameters and can solve the problem of optimizing production in the textile and haberdashery industry depending on the target strength and weight of the product.

Keywords: braided and knitted cord, breaking load, scale factor, load factor of yarns in the cord.

Article info: received October 9, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

В настоящее время во многих отраслях современной техники широко применяются плетеные изделия бытового и технического назначения. Плетение – один из древних способов получения изделий, при котором нити под натяжением подаются в общую рабочую зону с одновременным перемещением в пространстве паковок (Минасян и др., 2020).

Шнуры – универсальные изделия, используемые в различных областях легкой и тяжелой промышленности, строительства, быта и связи, медицине, спорте, военном деле, сельском хозяйстве, пищевой промышленности и прочих отраслях (Зайцева, Рыклин, 2025). Современное развитие техники для производства шнуров (Min Chen et al., 2022) охватывает целый спектр технологических переходов: от дизайна будущего изделия до высококачественного и высокопроизводительного продукта в конце всего цикла производства.

Специальные эксплуатационные свойства текстильных материалов как правило задаются на первоначальном этапе проектирования изделий, так как на конечный результат будет влиять в первую очередь тип волокна, технология его производства, линейная плотность нити, крутка и прочие технические параметры нити.

Шнуры, как гибкие силовые элементы, являются критически важными компонентами в самых разных отраслях: авиационно-космическая и автомобильная промышленность, судостроение и такелаж, строительство и грузоподъемное оборудование, спорт и туризм,

медицина, бытовая техника и электроника, средства индивидуальной защиты, военное обмундирование и прочее. Их многократное использование вызывает потребность в проектировании изделий особых структур для придания шнурам устойчивости к разрыву и истиранию (Baszczuński, 2015).

Актуальность разработок обусловлена постоянным запросом на снижение массы, увеличение прочности, долговечности и надежности этих элементов при одновременном сохранении или снижении их стоимости (Манукян, 2012).

Шнуры технического назначения используется в строительной отрасли, при производстве спортивной одежды и инвентаря, автомобильных тросов и пр., где основным требованием к изделию является его прочность при многократном и длительном использовании. Достичь улучшенных разрывных показателей для шнуров технических помогают правильный подбор нитей, увеличение плотности плетения/вязания, использования в наполнении шнура дополнительных нитей, шнуров, проволоки и прочих материалов (Чарковский, Лобацкая, 2020).

С развитием производства спецодежды для работников опасных производств потребность в тонких, но сверхпрочных шнурах с крайне низким удлинением под нагрузкой только возрастает (Базунов, Родионов, 2013). Наибольшей устойчивостью к истиранию обладают текстильные изделия, которые состоят из нитей, имеющих высокую стойкость к многократным деформаци-

ям. Структура шнура так же влияет на износостойкость изделия: рельефные шнуры обладают меньшей устойчивостью к истиранию, чем шнуры, имеющие гладкую структуру.

Несмотря на широкую изученность существующие методики проектирования и производства шнуров не всегда позволяют комплексно и прогнозируемо получать изделия с заранее заданным набором свойств (например, сочетание высокой прочности, гибкости, стойкости к УФ-излучению и низкой массы), особенно когда требования к свойствам противоречивы (Ömer Firat et al., 2021).

В соответствии с ГОСТ 29231-91, ГОСТ 2297-90, ТУ ВУ 700002794.158-2001 одним из важнейших показателей для выпуска шнуров обувных, бытовых, технических и прочих, характеризующих прочность шнуров, является их разрывная нагрузка.

Для достижения высоких параметров прочности необходимо учитывать свойства исходных нитей, такие как: линейная плотность, удельная разрывная нагрузка, состав исходного волокна и способ его производства. Следствием плохого качества исходной нити или смешанной пряжи [Niles et al., 2017] может являться неровнота шнура по разрывной нагрузке и неравномерность структуры. Немаловажным фактором влияния на прочностные характеристики конечного продукта является процесс переработки исходных нитей, как на подготовительных этапах производства (например, перематывание), так и непосредственно при изготовлении шнура. Известно, что при повышении натяжения нитей в процессе их переработки их физико-механические показатели свойств могут существенно ухудшаться (Назарова, Трифонова, 2018).

Исследование новых технологий, структур и инновационных материалов в области производства шнуров с заданными свойствами из различных нитей и волокон является неотъемлемой частью процесса их проектирования для подбора оптимальных параметров производства данной группы текстильно-галантерейных изделий (Чарковский и др., 2018).

Целью данной работы являлся определение влияния структуры и сырьевого состава на разрывную нагрузку шнуров двух групп – плетеных и вязаных.

Методы и средства исследования

В качестве объектов исследования выбраны 12 образцов шнуров, выработанных на плетельных машинах типа ШПМ и вязальных машинах типа ШВМ-3.

Для этого на ОАО «Лента» наработаны 2 группы обувных шнуров с заданными параметрами. Первая группа выполнена на плетельном оборудовании 40 класса однопрядным переплетением с количеством плетений – 4 на 1 сантиметр, использованием нитей линейных плотностей от 25 текс × 2 до 28 текс × 2. Вторая группа шнуров изготавливалась на вязальной машине с 12-игольным цилиндром из нитей линейных плотностей от 25 текс × 2 до 28 текс × 2, однократным переплетением и плотностью вязания 7 петель на 1 сантиметр для всех образцов второй группы.

Заправочные параметры производства шнуров представлены в таблице 1.

Фактическая линейная плотность нити определялась согласно ГОСТ 6611.1-73 путем взвешивания пасмы с погрешностью не более 0,5% от их общей массы.

Разрывную нагрузку нитей определяли методом разрыва одной нити согласно ГОСТ 6611.2-73. Для проведения испытания применялась разрывная машина маятникового типа, с постоянной скоростью возрастания нагрузки, с постоянной скоростью деформирования, обеспечивающие погрешность измерения разрывной нагрузки ±1%.

Для определения разрывной нагрузки согласно ГОСТ 16218.5-93 использовалась машина разрывная марка WDW-01 с постоянной скоростью деформирования. Все пробы шнуров перед испытанием выдерживались в свободном состоянии в климатических условиях по ГОСТ 10681-75 не менее 24 часов. Высота рабочего пространства составила 100 мм для вязаных изделий при испытании по направлению петельных столбиков и 200 мм для плетеных изделий при испытании по оплетке; заправка шнуров осуществлялась в плоские захваты так, чтобы проба подвергалась равномерному предварительному натяжению по всей ширине.

Для определения коэффициента уработки нити пробы вязаных шнуров длиной 100 см распускались в сторону, обратную вязанию, тем самым освобождая нити каждого петельного столбика вязаного шнура. Для плетеных шнуров использовался метод поочередного вытягивания нити оплетки плетеного шнура из подготовленной пробы длиной в 100 см. Значение коэффициента уработки нити определяли, как отношение фактической длины нити, извлеченной из пробы, к длине пробы.

Результаты исследований

Результаты испытаний опытных образцов шнуров представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Заправочные параметры производства шнуров
Table 1 – Production parameters for cords manufacturing

Номер образца	Наименование сырья	Номинальная линейная плотность нити, текс	Фактическая линейная плотность нити, текс	Удельная разрывная нагрузка нити, сН/текс	Количество нитей на 1 катушке, шт
Плетеные шнуры					
1	Нить полиэфирная	25×2	51,2	37,1	1
2	Нить полиэфирная	25×2	51,2	37,1	2
3	Пряжа хлопчатобумажная	25×2	51,7	17,1	2
4	Пряжа хлопчатобумажная	25×2	51,7	17,1	4
5	Пряжа льняная	28×2	56,3	26,4	2
6	Нить полипропиленовая	28×2	55,9	52,1	2
Вязаные шнуры					
7	Нить полиэфирная	25×2	51,2	37,1	1
8	Нить полиэфирная	25×2	51,2	37,1	2
9	Пряжа хлопчатобумажная	25×2	51,7	17,1	2
10	Пряжа хлопчатобумажная	25×2	51,7	17,1	4
11	Пряжа льняная	28×2	56,3	26,4	2
12	Пряжа (полиэфирное волокно – 40 %, вискоза – 40 %, лен – 20 %)	25×2	49,5	15	2

Как показали результаты исследования, шнур № 6 из нити полипропиленовой имеет самую высокую разрывную нагрузку в 1404 Н, что обусловлено самой высокой удельной разрывной нагрузкой нити в 45 сН/текс.

На примере образцов 1, 2, 7 и 8 из полиэфирной нити 25 текс × 2 заметно, что разрывная нагрузка шнура повышается с увеличением его линейной плотности при одинаковой технологии изготовления.

В случае использования разных технологий одинаковая линейная плотность шнура не гарантирует близкие значения их прочности. При этом плетеные шнуры характеризуются существенно большей прочностью. Так, значения разрывной нагрузки образцов 1 и 7, изготовленных из одного и того же вида сырья и имеющих одинаковую линейную плотность, отличаются приблизительно на 75 %, а для шнуров 2 и 8 разница снижается до 25 %.

Аналогичная закономерность выявлена и для образцов 3, 4, 9 и 10 из хлопчатобумажной пряжи 25 текс × 2.

Очевидно и то, что с увеличением удельной разрывной нагрузки исходной пряжи повышается прочность шнуров близкой линейной плотности, изготовленных по одной технологии. Так шнур 11 из льняной пряжи имеет всего на 4 % меньшую линейную плотность по сравнению с шнуром 11 из смешанной пряжи. Но из-за превышения удельной разрывной нагрузки льняной пряжи на 76 % соответствующего показателя смешанной пряжи соотношение прочностей шнуров составляет 1,34.

Однако необходимо обратить внимание на то, что при сопоставлении значений разрывной нагрузки шнуров из пряжи и комплексных химических нитей данная закономерность не подтверждается. Например, сопоставляя данные о шнурах 2 и 5, можно отметить, что они характеризуются практически одинаковой линейной плотностью. При этом исходная комплексная полиэфирная нить была прочнее льняной пряжи на 40 %. Но шнуры из нее оказались на 18,5 % менее прочными по сравнению с льняными.

Таблица 2 – Результаты испытаний опытных образцов шнуров
Table 2 – Results of experimental cords samples testing

Номер образца	Наименование сырья	Коэффициент уработки нитей	Линейная плотность шнура, г/п.м, $T_{ш}$	Разрывная нагрузка шнура, Н, $R_{ш}$
Плетеные шнуры (зажимная длина – 20 см)				
1	Нить полиэфирная	1,3	2,6	377
2	Нить полиэфирная	1,35	5,4	657
3	Пряжа хлопчатобумажная	1,3	5,2	452
4	Пряжа хлопчатобумажная	1,35	11,5	911
5	Пряжа льняная	1,2	5,5	779
6	Нить полипропиленовая	1,25	4,8	1404
Вязаные шнуры (зажимная длина – 10 см)				
7	Нить полиэфирная	4,4	2,6	216
8	Нить полиэфирная	4,6	5,2	523
9	Пряжа хлопчатобумажная	5,1	6,2	309
10	Пряжа хлопчатобумажная	4,9	12,6	612
11	Пряжа льняная	4,6	6,7	524
12	Пряжа (полиэфирное волокно – 40 %, вискоза – 40 %, лен – 20 %)	5,2	7	391

Таким образом, полученные экспериментальные данные требуют более глубокого анализа с выявлением факторов, оказывающих влияние на разрывную нагрузку шнуров.

Анализ полученных результатов

Анализ влияния разрывной нагрузки исходных компонентов шнура и его структуры можно осуществить на основе коэффициента использования прочности нитей в шнуре, который по аналогии с пряжей (Рыклин, 2022), состоящей из штапельных волокон, рассчитывается по формуле

$$K_{и} = \frac{R_{ш}}{R_{н}}, \quad (1)$$

где $R_{н}$ – удельная разрывная нагрузка нити, сН/текс; $R_{ш}$ – удельная разрывная нагрузка шнура, сН/текс.

С учетом того, что разрывная нагрузка шнура $P_{ш}$ определяется в ньютонах, а его линейная плотность $T_{ш}$ – в килотексах (г/м) формула (1) приобретает следующий вид

$$K_{и} = \frac{P_{ш}}{10 \cdot T_{ш} \cdot R_{н}}. \quad (2)$$

Если для крученых изделий и канатов сквозного плетения существует методика по определению разрывной нагрузки с использованием значения коэффициента использования прочности для прядей или каболок, по которой значения коэффициента использования прочности более или менее легко определяются, то для шнуров такой путь не разработан (Сукконова, 2011).

Коэффициент использования прочности показывает во сколько раз разрывная нагрузка шнура меньше по сравнению со значением соответствующего показателя пучка исходных нитей той же линейной плотности.

Основными причинами снижения прочности шнура являются следующие:

1. Потеря прочности исходных компонентов в процессе переработки.
2. Сложное пространственное расположение нитей в шнуре, в результате чего их участки не параллельны оси шнура.

В последующих расчетах коэффициенты, влияющие на снижение разрывной нагрузки шнура по указанным причинам будут обозначаться, соответственно, K_1 и K_2 .

Кроме того, дополнительным фактором, оказывающим влияние на изменение разрывной нагрузки шнура является масштабный фактор, так как зажимная длина нити ($l_H = 50$ см) при ее испытаниях на растяжение отличается от длины участка нити в образце шнура.

Зажимная длина l_{III} , устанавливаемая при испытании шнуров, зависит от способа их получения. Согласно ГОСТ 16218.5-93 для тканых, плетеных, витых изделий при испытании по основе и оплетке зажимная длина $l_{III} = 20$ см, а для вязаных изделий при испытании по направлению петельных столбиков $l_{III} = 10$ см. Длина участка нити в образце шнура между зажимами составляет $l_{III} \cdot k_y$, где k_y – коэффициент уработки нитей.

Если величина $l_{III} \cdot k_y$ меньше 50 см, то с учетом масштабного фактора, как правило, разрывная нагрузка, определенная на таком участке, может быть несколько больше по сравнению со значением, полученным при испытаниях нитей по стандартным методикам [Кузнецов, 2009]. В связи с этим при анализе причин снижения разрывной нагрузки шнура по сравнению с разрывной нагрузкой нити целесообразно вводить коэффициент

$$k_M = \frac{P'_H}{P_{H(50)}}, \quad (3)$$

где $P_{H(50)}$ – разрывная нагрузка нити, определенная при стандартной зажимной длине, сН; P'_H – разрывная нагрузка нити, определенная для участка нити, соответствующего ее длине в образце шнура между зажимами [$l_{III} \cdot k_y$].

Таким образом, коэффициент использования прочности нитей в шнуре можно представить, как произведение коэффициентов, определяемых каждой из указанных причин:

$$K_{II} = K_1 \cdot K_2 \cdot k_M. \quad (4)$$

Для определения значений коэффициентов K_1 и k_M из образцов шнуров были извлечены отрезки исходных нитей, которые были подвергнуты испытаниям на разрывной машине.

Испытания нитей проводились при двух значениях зажимной длины:

– 50 см – соответствует зажимной длине при испытаниях исходных нитей;

– 10 и 20 см – соответствует зажимной длине при испытаниях плетеного и вязаного шнура, соответственно.

Значение коэффициента K_1 рассчитывалось, как отношение разрывных нагрузок образцов нитей, извле-

ченных из шнуров, и исходных нитей при стандартной зажимной длине l_H , равной 50 см.

Коэффициент k_M , учитывающий масштабный фактор, определялся на основе допущения о линейной зависимости разрывной нагрузки нити от зажимной длины на участке от l_{III} до l_H . В этом случае разрывная нагрузка нити на участке длиной $l_{III} \cdot k_y$ может быть рассчитана по формуле

$$P'_H = P_{H(50)} + (P_{H(l_H)} - P_{H(50)}) \frac{50 - l_{III} \cdot k_y}{50 - l_{III}}. \quad (5)$$

Тогда для плетеных шнуров формула (5) с учетом зажимной длины участка $l_{III} = 20$ см приобретает следующий вид

$$P'_H = P_{H(50)} + (P_{H(20)} - P_{H(50)}) \frac{50 - 20k_y}{30}. \quad (6)$$

Аналогично для нити, извлеченной из вязаного шнура, испытываемого при зажимной длине $l_{III} = 10$ см

$$P'_H = P_{H(50)} + (P_{H(10)} - P_{H(50)}) \frac{50 - 10k_y}{40}. \quad (7)$$

После расчетов значений коэффициентов K_{II} , K_1 и k_M можно рассчитать значение коэффициента K_2 , зависящего от пространственного расположения нити в шнуре

$$K_2 = \frac{K_{II}}{K_1 \cdot k_M}. \quad (8)$$

Результаты испытаний нитей после переработки представлены в таблице 3.

На основании данных таблиц 1–3 по формулам (1)–(8) проведены расчеты коэффициентов, характеризующих использование разрывной нагрузки нити в шнуре. Заключительные результаты расчетов представлены в таблице 4.

Результаты измерений и проведенные расчеты показали, что в процессе переработки разрывная нагрузка падает, как у комплексных химических нитей, так и у пряжи. Снижение разрывной нагрузки составляет от 18 до 40 %. Исключением явилась только полипропиленовая нить, прочность которой в процессе переработки на плетельном оборудовании не снизилась.

Корреляционный анализ показал, что коэффициент K_2 имеет достаточно заметную отрицательную взаимосвязь с коэффициентом уработки. Коэффициент корреляции этих показателей составил $-0,75$. Однако можно отметить, что для комплексных нитей, переработанных

Таблица 3 – Результаты испытаний нитей после переработки
Table 3 – Results of yarns testing after their processing

Номер образца	Удельная разрывная нагрузка исходной нити, сН/текс, Rn(50)	Разрывная нагрузка нити после переработки, Н, Рn' (I ₃)	Удельная разрывная нагрузка нити после переработки, сН/текс, Rn'	Разрывная нагрузка нити после переработки, Н, Рn'(50)	Удельная разрывная нагрузка нити после переработки, сН/текс, Rn'(50)
Плетеные шнуры (зажимная длина при испытании шнуров – I ₃ = 20 см)					
1	37,1	16,6	33,2	15	30
2	37,1	16,8	33,6	15,6	31,2
3	17,1	6,7	13,4	5,7	11,4
4	17,1	6,8	13,6	6,4	12,8
5	26,4	11,6	20,7	11,2	20
6	52,1	26,9	53,8	26,7	53,4
Вязаные шнуры (зажимная длина при испытании шнуров – I ₃ = 10 см)					
7	37,1	15,4	30,8	14,4	28,8
8	37,1	15,7	31,4	15,1	30,2
9	17,1	6,9	13,8	6,8	13,6
10	17,1	6,8	13,6	6,6	13,2
11	26,4	13	23,2	13,1	23,4
12	23,9	8,2	16,4	7,2	14,4

на плетельном оборудовании, K_2 значения несколько ниже, чем для пряжи. Данный факт может быть объяснен некоторым упрочнением шнуров из пряжи за счет увеличением сил трения между нитями с учетом их более высокой ворсистости. Для вязаных шнуров различия в структуре используемых текстильных нитей проявились в существенно меньшей степени.

Коэффициент использования прочности нитей в шнуре составил для плетеных шнуров 0,33–0,56, а для вязаных – 0,22–0,3, что связано именно с большей уработкой нитей в процессе вязания, в результате чего нити в шнуре менее ориентированы вдоль его оси, так как существенной разницы в снижении разрывной нагрузки нитей при их переработки разными способами не выявлено.

Выводы

При проектировании шнуров с заданными свойствами для достижения высокого показателя разрывной нагрузки необходимо в первую очередь уделять внимание сырью, из которого планируется разработка изделия. Доказано, что удельная разрывная нагрузка нити и их количество в структуре шнура прямо пропорционально влияют на его разрывную нагрузку. При этом в процессе переработки разрывная нагрузка нитей, из которых производится шнур, несколько снижается.

Вязаные шнуры обладают более низкими показателями разрывной нагрузки, что предположительно связано с большим отклонением нитей в структуре шнуров от их оси, о чем свидетельствуют повышенные значения коэффициента уработки.

Таблица 4 – Результаты расчета коэффициентов, характеризующих использование разрывной нагрузки нити в шнурах разного состава и структуры

Table 4 – Results of calculation of coefficients quantitatively determining the load characteristics of yarns in the cords of different compositions and structures

Номер образца	Наименование сырья	K_{II}	K_I	K_2	k_{II}
Плетеные шнуры					
1	Нить полиэфирная	0,39	0,81	0,45	1,09
2	Нить полиэфирная	0,33	0,84	0,37	1,06
3	Пряжа хлопчатобумажная	0,51	0,67	0,67	1,14
4	Пряжа хлопчатобумажная	0,46	0,75	0,59	1,05
5	Пряжа льняная	0,54	0,76	0,69	1,03
6	Нить полипропиленовая	0,56	1,03	0,54	1,01
Вязаные шнуры					
7	Нить полиэфирная	0,22	0,78	0,29	1,01
8	Нить полиэфирная	0,27	0,81	0,33	1
9	Пряжа хлопчатобумажная	0,29	0,8	0,37	1
10	Пряжа хлопчатобумажная	0,28	0,77	0,37	1
11	Пряжа льняная	0,29	0,89	0,34	1
12	Пряжа (полиэфирное волокно – 40 %, вискоза – 40 %, лен – 20 %)	0,23	0,6	0,39	0,99

Полученные результаты позволяют ориентировочно прогнозировать разрывную нагрузку шнуров, получаемых разными способами из исследованных видов исходного сырья, а предложенный подход может быть использован в процессе разработки новых видов шнуров для анализа причин изменения их прочности. Дальнейший подбор технологических требований, предъявляемых к разработке шнуров и параметров заправки изделия на машине будет влиять на эффективную работу оборудования, качество готового изделия и ценообразование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Базунов, Д.А. и Родионов, В.А. (2013). Технология получения шнуроплетеных изделий с пониженной усадкой, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2 (344), С. 57–60.

Зайцева, Н. С. и Рыклин, Д. Б.(2025). Разработка и исследование светонакопительных шнуров, *Инновационное развитие техники и технологий в промышленности (ИНТЕКС-2025): сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием*, Часть 2, С. 59–62.

Кузнецов, А.А. (2009). Исследование влияния масштабного фактора на характеристики прочности пряжи. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2009, № 1, С. 14–17.

Родионов В.А. и Манукян Э.А. (2012). Проектирование разрывной нагрузки шнуроплетеных изделий по методу подобия. *Дизайн и технологии*, № 25, 1. С. 91–97.

Минасян, Э.А., Папоян, А.Р., Манукян, Э.А. и Манасян, Н.К. (2020). Обзор технологии изготовления и методов оценки свойств плетеных изделий, *Вестник науки и образования*, № 18(96). Часть 1, С. 20–30.

Назарова, М.В. и Трифонова, Л.Б. (2018). Анализ физико-механических показателей хлопчатобумажной пряжи в различных процессах снования, *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, № 1, С. 31–35.

Рыклин, Д.Б. (2022). *Технология и оборудование для подготовки текстильных волокон к прядению*. Витебск: ВГТУ, Республика Беларусь.

Суконнова, Т.Е. (2011). Сравнительная оценка методов определения разрывной нагрузки плетеных шнуров, *Известия КГТУ*, № 20, С. 217–221.

Чарковский, А.В., Аничкин, В.В., Мисевич А.А. и Калтыженков, А.М. (2018). Разработка шнуров с использованием углеродных нитей, *Материалы и технологии*, № 2 (2) С. 61–64.

Чарковский, А.В. и Лобацкая, Е.М. (2020). Разработка и исследование вязаных шнуров из новых видов нитей, *Химические волокна*, № 2, С. 24–27.

Baszczyński, K. (2015). Effect of Repeated Loading on Textile Rope and Webbing Characteristics in Personal Equipment Protecting Against Falls from a Height. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 4(112), pp. 110–118.

Min Chen, Jingyu Ouyang, Aijia Jian, Jia Liu, Pan Li, Yixue Hao, Yuchen Gong, Jiayu Hu, Jing Zhou, Rui Wang, Jiayi Wang, Long Hu, Yuwei Wang, Ju Ouyang, Jing Zhang, Chong Hou, Lei Wei, Huamin Zhou, Dingyu Zhang and Guangming Tao (2022). Imperceptible, designable, and scalable braided electronic cord, *Nature Communications*, vol. 13, pp. 1–10.

Niles, S.N., Dias, W.P.P., Perera TKM, Vinoth, W. and Wijenayake, E.M.R. (2017). A Vision-Based Method For Analyzing Yarn Evenness, *International journal of scientific & technology*, vol. 6(2), pp. 254–256.

Ömer Firat, Elif Dicle and Alhayat Getu (2023). A mini-review on rope technologies in the marine, *Bursa 1st International Conference on Mathematic and Engineering*, pp. 21–33.

REFERENCES

Bazunov, D.A. and Rodionov, V.A. (2013). Technology of producing braided products with reduced shrinkage (Tehnologiya polucheniya shnuropletenykh izdelij s ponizhennoj usadkoj), *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, No. 2 (344), pp. 57–60 (In Russian).

Zaitseva, N.S. and Ryklin, D.B. (2025). Development and study of light-accumulating cords (Razrabotka i issledovanie svetonakopitel'nykh shnurov), *Innovacionnoe razvitie tekhniki i tekhnologij v promyshlennosti (INTEKS-2025): sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii molodyh issledovatelej s mezhdunarodnym uchastiem = Innovative development of engineering and technology in industry (INTEX-2025): collection of materials from the All-Russian scientific conference of young researchers with international participation*, Part 2, pp. 59–62 (In Russian).

Kuznetsov, A.A. (2009). Study of the influence of the scale factor on the strength characteristics of yarn (Issledovanie vliyaniya masshtabnogo faktora na harakteristiki prochnosti pryazhi), *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2009, No. 1, pp. 14–17 (In Russian).

Rodionov V.A. and Manukyan E.A. (2012). Design of breaking load of braided products using the similarity method (Proektirovanie razryvnoj nagruzki shnuropletenykh izdelij po metodu podobiya), *Dizajn i tekhnologii = Design and Technology*, No. 25, 1, pp. 91–97.

Minasyan, Z.A., Papoyan, A.R., Manukyan, E.A. and Manasyan, N.K. (2020). Review of Manufacturing Technology and Methods for Assessing the Properties of Braided Products (Obzor tekhnologii izgotovleniya i metodov ocenki svojstv pletenykh izdelij), *Vestnik nauki i obrazovaniya = Vestnik of Science and Education*, No. 18(96). Part 1, pp. 20–30 (In Russian).

Nazarova, M.V. and Trifonova, L.B. (2018). Analysis of the Physicomechanical Properties of Cotton Yarn in Various Warping Processes (Analiz fiziko-mekhanicheskikh pokazatelej hlochatobumazhnoj pryazhi v razlichnyh processah snovaniya), *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij = International Journal of Applied and Fundamental Research*. No. 1, pp. 31-35 (In Russian).

Ryklin, D.B. (2022). *Tekhnologiya i oborudovanie dlya podgotovki tekstil'nyh volokon k pryadeniyu* (Technology and Equipment for Preparing Textile Fibers for Spinning). Vitebsk: VSTU, Republic of Belarus (In Russian).

Sukonnova, T.E. (2011). Comparative Evaluation of Methods for Determining the Breaking Load of Braided Cords (Sravnitel'naya ocenka metodov opredeleniya razryvnoj nagruzki pletenyh shnurov), *Izvestiya KGTU = Izvestiya KSTU*, No. 20, pp. 217-221 (In Russian).

Charkovsky, A.V., Anichkin, V.V., Misevich, A.A. and Kaltyzhenkov, A.M. (2018). Development of Cords Using Carbon Fibers (Razrabotka shnurov s ispol'zovaniem uglerodnyh nitej), *Materialy i tekhnologii = Materials and Technologies*, No. 2 (2), pp. 61-64 (In Russian).

Charkovsky, A.V. and Lobatskaya, E.M. (2020). Development and Study of Knitted Cords from New Types of Fibers (Razrabotka i issledovanie vyazanyh shnurov iz novyh vidov nitej), *Himicheskie volokna = Chemical Fibers*, No. 2, pp. 24-27 (In Russian).

Baszczyński, K. (2015). Effect of Repeated Loading on Textile Rope and Webbing Characteristics in Personal Equipment Protecting Against Falls from a Height. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 4(112), pp. 110-118.

Min Chen, Jingyu Ouyang, Aijia Jian, Jia Liu, Pan Li, Yixue Hao, Yuchen Gong, Jiayu Hu, Jing Zhou, Rui Wang, Jiayi Wang, Long Hu, Yuwei Wang, Ju Ouyang, Jing Zhang, Chong Hou, Lei Wei, Huamin Zhou, Dingyu Zhang and Guangming Tao (2022). Imperceptible, designable, and scalable braided electronic cord, *Nature Communications*, vol. 13, pp. 1-10.

Niles, S.N., Dias, W.P.P., Perera TKM, Vinoth, W. and Wijenayake, E.M.R. (2017). A Vision-Based Method For Analyzing Yarn Evenness, *International journal of scientific & technology*, vol. 6(2), pp. 254-256.

Ömer Firat, Elif Dicle and Alhayat Getu (2023). A mini-review on rope technologies in the marine, *Bursa 1st International Conference on Mathematic and Engineering*, pp. 21-33.

Информация об авторах

Information about the authors

Зайцева Наталья Станиславовна

Начальник технического отдела ОАО «Лента», аспирант (соискатель) кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: Natalia240987@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

Natalia S. Zaitseva

Head of the Technical Department of Lenta OJSC, Postgraduate Student (external) of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: Natalia240987@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

Исследование методик оценки прочности ниточных соединений верха обуви

В. Д. Борозна¹, А. Н. Буркин¹,
Н. Н. Пряник¹, А. Н. Молочко^{1,2}

¹Витебский государственный технологический университет,
²ЧТПУП «Ильвада», Республика Беларусь

Аннотация. Актуальность. В статье представлен сравнительный анализ методик оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви по действующему ГОСТ 9290-76 и новому ГОСТ ISO 17697-2023. Актуальность обусловлена необходимостью обеспечения высокого качества продукции в условиях рыночной конкуренции. Проведены экспериментальные исследования на образцах из натуральных кож по двум методам нового стандарта: Метод А (определение сопротивления материала прорезанию иглами) и Метод В (определение прочности на разрыв ниточного шва).

Проведенный анализ выявил методологические различия подходов, их преимущества и недостатки. Установлено, что новый стандарт предлагает более комплексную оценку, включая анализ сопротивления материала повреждению, но имеет ограничения, такие как статический характер испытаний, сложность подготовки образцов из готовых изделий и отсутствие интегрального показателя качества.

Практическая значимость работы состоит в возможности использования результатов для совершенствования контроля качества на обувных предприятиях, оптимизации технологических процессов и обоснованного перехода на новые стандартизированные методы. На основе проведенного анализа даны рекомендации по устранению выявленных недостатков стандартизированного метода.

Научная новизна работы заключается в проведении одного из первых в отечественной практике сравнительных исследований данных стандартов.

Целью работы является выявление методических недостатков в подходах оценки прочности ниточных соединений с целью организации контроля качества заготовок верха обуви.

Методы исследований – стандартные методики испытаний при исследовании прочности швов деталей заготовок для верха обуви.

Результаты работы – даны рекомендации по устранению недостатков стандартизированного метода оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви.

Ключевые слова: прочность ниточных соединений, верх обуви, методы испытаний, качество обуви, сравнительный анализ, натуральная кожа.

Информация о статье: поступила 15 сентября 2025 года.

A study of methods for assessing the strength of thread joints in shoe uppers

Vilia D. Borozna¹, Alexander N. Burkin¹,
Natalia N. Pryanik¹, Alexander N. Molochko^{1,2}

¹Vitebsk State Technological University, ²ChTPUP "Ilvada",
Republic of Belarus

Abstract. Relevance. This article presents a comparative analysis of methods for assessing the strength of thread joints in shoe upper components according to the current GOST 9290-76 and the new GOST ISO 17697-2023. This approach is relevant due to the need to ensure high product quality in a competitive market. Experimental studies were conducted on genuine leather samples using two methods of the new standard: Method A (determination of material cut resistance with needles) and Method B (determination of thread seam tensile strength).

The analysis revealed methodological differences between the approaches, as well as their advantages and disadvantages. It was determined that the new standard offers a more comprehensive assessment, including analysis of the material's resistance to damage, while it has limitations such as the static nature of testing, the difficulty of preparing samples from finished products, and the lack of an integrated quality indicator.

The practical significance of this work lies in the potential use of the results to improve quality control in footwear factories, optimize technological processes, and support the transition to new standardized methods. Based on the analysis, recommendations are provided for addressing the identified deficiencies of the standardized method. The scientific novelty of this work lies in conducting one of the first comparative studies of these standards in domestic research field.

The objective of this work is to identify methodological limitations in approaches to assessing the strength of thread connections to establish quality control of shoe upper blanks.

The research methods are standard test methods for assessing the strength of seams in shoe upper.

The results of this work include recommendations for addressing the deficiencies of the standardized method for assessing the strength of thread joints in shoe upper components.

Keywords: thread joint strength, shoe upper, test methods, shoe quality, comparative analysis, genuine leather.

Article info: received September 15, 2025.

Введение

Сегодня рыночная экономика складывается в условиях жесткой конкуренции. Современный потребитель становится более разборчивым в выборе товаров, а производителям приходится обеспечивать должный уровень качества продукции, чтобы удерживать своих покупателей. Улучшение качества продукции является важнейшим направлением интенсивного развития экономики, источником экономического роста и эффективности производства. В этой связи главную роль играет комплексное управление качеством продукции и эффективностью производства. Для управления качеством продукции производители должны иметь информацию о фактическом качестве сырья и вспомогательных материалов, знать факторы повышения качества, критерии управления и иметь план по качеству (Л.М. Куприянов, 2015). Качество обуви определяется широким комплексом свойств, требования к которым зависят в основном от её вида и назначения. К функциональным показателям качества обуви относится прочность ниточных соединений деталей верха обуви, которые характеризует её долговечность.

Ниточные соединения являются важным элементом в конструкции верха обуви, определяющим ее эксплуатационные характеристики и потребительские свойства. В условиях динамичного развития рынка обувной промышленности и появления новых материалов актуальность совершенствования методов оценки прочности ниточных соединений швов приобретает научное и практическое значение.

В процессе изготовления обуви детали верха и, следовательно, швы подвергаются механическим и физико-химическим воздействиям. Ниточные соединения должны выдерживать статические нагрузки, возни-

кающие при формовании заготовок обуви и снятия её с колодки. Качество обуви формируется в процессе её производства. В связи с указанным выше актуальным является оценка прочности ниточных швов на стадии подготовки производства. Особенно это актуально при запуске нового ассортимента обуви, а также применения инновационных материалов и оригинальных технологий.

Известно, что на прочность ниточного шва влияют физико-механические свойства материалов верха и применяемых ниток (Пряник Н.Н., 2025). Следует также учитывать параметры технологического характера, к которым можно отнести: утяжка шва, форма острия и диаметр стержня иглы, длина стежка, число строчек, расстояние между строчками и строчки от края детали.

Качество ниточного соединения также зависит от физико-механических свойств ниток, соединяемых материалов и технологичности ниточного шва. Свойства текстильных ниток зависят от вида используемого для их производства волокна, структуры нити, параметров волокон, состава сырья и сорта нитей (И.А. Калугина & И.Н. Леденева, 2012; И.Н. Леденева, et al., 2022).

Ряд научных исследований показал, что прочность ниточных швов зависит от многих факторов, включая тип ниток, параметры швейных игл, частоту строчки и технологические условия сборки. Например, капроновые нитки № 64/3 обладают более высокой прочностью по сравнению с хлопчатобумажными, особенно при использовании игл меньшего диаметра и оптимальной частоты строчки (6–7 стежков на 1 см). Полипропиленовые нитки оказались наиболее устойчивыми к воздействию кислот и щелочей, что делает их предпочтительными для спецобуви, эксплуатируемой в агрессивных условиях.

Важным аспектом является влияние температуры и трения при шитье. Нагревание иглы до высоких температур (до 320 °С) может привести к повреждению ниток и материалов, особенно при работе с синтетическими кожами. Использование игл с ромбической заточкой позволяет снизить температуру нагрева и уменьшить усилие прокола, что улучшает качество швов.

Параметры технологических процессов, таких как натяжение ниток, расстояние между строчками и ширина припуска, также играют ключевую роль. Например, для двухрядного настрочного шва оптимальная частота строчки составляет 6–6,1 стежка на 1 см, а натяжение верхней нитки – 5,0–5,5 Н. Эти параметры позволяют повысить прочность шва в 2,14 раза по сравнению с нормируемыми значениями.

Исследования также показали, что направление прокладывания строчки влияет на прочность швов. Швы, проложенные параллельно разрывающему усилию, обладают более высокой прочностью по сравнению с диагональными. Укрепление швов межподкладкой и тесьмой значительно повышает их долговечность, особенно в зонах наибольших напряжений, таких как задний шов голенищ.

Имеется ряд зарубежных научных публикаций, посвященных исследованию прочности ниточных соединений (S. Borse et al., 2020; S.A. Ghani, 2011; Daniela Barbulov-Popov & Nenad Cirkovic & Jovan Stepanovic, 2012; Chen, J.C. et al., 2014; B. Kordoghli, C. Kacem Saidene & M. Cheikhrouhou, 2011; Bessem Kordoghli & Morched Cheikhrouhou & Chiraz Kacem Saidene, 2009; F. Harnagea & A. Iovan Dragomir & C. Secan, 2016, M.O. Леденев & И.Н., 2011). В зарубежных исследованиях подтверждено, что прочность шва увеличивается с ростом количества стежков на сантиметр, при этом максимальная прочность достигается при 5 стежках. Настрочные швы с укреплением имеют более высокие показатели прочности по сравнению с открытыми швами.

В настоящее время в отечественной практике для оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви применяют межгосударственный стандарт ГОСТ 9290-76 «Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха». Однако с августа 2026 года будет введен в применение идентичный межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 17697-2023 «Обувь. Методы испытания верха, подкладки и вкладных стелек. Прочность швов». Сравнительный анализ этих технических нормативно правовых актов выявляет

методологические различия в подходах к оценке прочности ниточных соединений, что требует тщательного научного исследования. Тем более, что отечественные публикации по этой тематике отсутствуют.

Таким образом целью работы является выявление методических недостатков в подходах оценки прочности ниточных соединений с целью организации контроля качества заготовок верха обуви.

Объекты и методы исследования

Для исследования прочности ниточных швов были отобраны следующие виды натуральной кожи: Santana, Калифорния спорт, Фиджи (производства АО «Русская кожа», г. Рязань), ТулипСофти, Тигина (производства ОАО «Минское производственное кожевенное объединение», р-н агрогородка Гатово Минский р-н).

Данная работа проводилась на базе предприятия ЧТПУП «Ильвада» г. Витебск специализирующего на сборке заготовок верха обуви, которое является резидентом республиканского инновационного унитарного предприятия «Научно-технологический парк Витебского государственного технологического университета». С использованием оборудования предприятия и технологии сборки заготовок верха обуви, подготовлены пробы из заготовки верха обуви. Все испытания проводили на поверенном оборудовании и приборах кафедры «Техническое регулирование и товароведение».

ГОСТ ISO 17697-2023 «Обувь. Методы испытания верха, подкладки и вкладных стелек. Прочность швов» устанавливает два метода испытаний для определения прочности швов верха, подкладки или вкладных стелек обуви, вне зависимости от материала, для оценки их пригодности конечному применению.

Сущность методов испытаний прочности ниточных швов заключается в следующем:

– Метод А: прямой ряд игл продавливают через всю толщину Т-образной испытуемой пробы так, чтобы ряд игл был параллелен основанию Т и находился от него на заданном расстоянии. Затем прикладывают усилие разрыва перпендикулярно к ряду игл, чтобы вытянуть испытуемую пробу. Максимальное зарегистрированное усилие делят на ширину испытуемой пробы и получают прочность в направлении, перпендикулярном к игольным отверстиям (рисунки 1 и 2).

– Метод В: испытуемую пробу, включающую ниточный шов, постепенно растягивают на разрывной машине в направлении, перпендикулярном к шву, до разрыва.

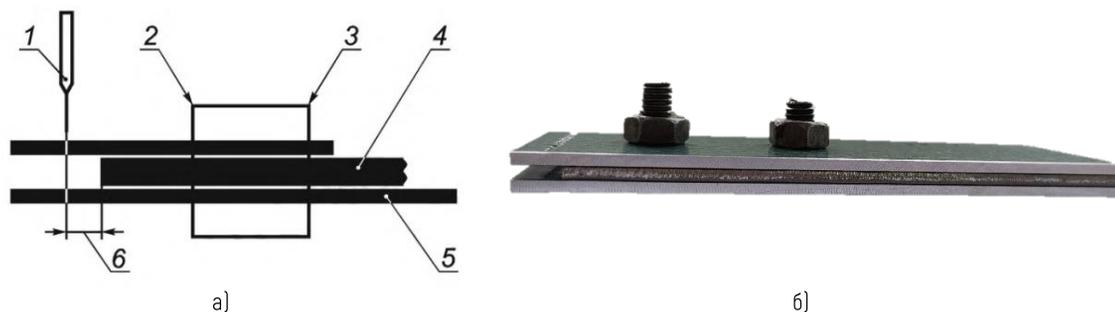


Рисунок 1 – Иглодержатель по методу А:

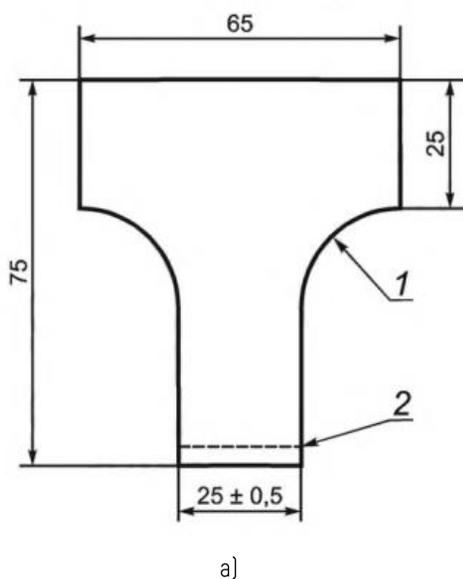
1 – игла; 2 – крепление; 3 – просверленная пластина; 4 – разделительная пластина;
5 – просверленная пластина; 6 – расстояние;

а) схематическое изображение иглодержателя; б) внешний вид иглодержателя

Figure 1 – Needle holder according to Method A:

1 – needle; 2 – fastener; 3 – drilled plate; 4 – spacer plate; 5 – drilled plate; 6 – distance;

а) schematic representation of the needle holder; б) external appearance of the needle holder



а)



б)

Рисунок 2 – Испытуемая проба:

1 – 20 (радиус); 2 – линия перфорации;

а) схематическое изображение испытуемой пробы; б) внешний вид образца в иглодержателе

Figure 2 – Test sample:

1 – 20 (radius); 2 – perforation line;

а) schematic representation of the test sample; б) appearance of the sample in the needle holders

Определяют прочность на разрыв и тип разрыва (рисунок 3).

Испытания по методу А проводят на разрывной машине со скоростью перемещения зажимов (100 ± 10) мм/мин, с диапазоном усилия, соответствующим испытываемой пробе (обычно менее 500 Н для материалов верха обуви), обеспечивающая измерение усилия с точностью до 2 %.

Пробы испытываемого материала закрепляют в иглодержатель, который представляет собой две прямоугольные жесткие пластины, каждая минимальной шириной 30 мм и максимальной толщиной 6 мм. На каждой из двух пластин просверливают 17 отверстий диаметром $(1,1 \pm 0,1)$ мм.

Отверстия располагаются на прямой линии, параллельной одному краю пластины и находящейся приблизительно в 5 мм от него. Отверстия располагают равномерно, чтобы центры двух крайних отверстий на-

ходились на расстоянии $(26,5 \pm 0,5)$ мм друг от друга.

Одну разделительную пластину такой же ширины, как и просверленные пластины, и имеющую толщину, равную $(3,5 \pm 0,5)$ мм.

Средства крепления разделительной пластины к поверхности одной из просверленных пластин, позволяющие отрегулировать расстояние между краем разделительной пластины и центральной линией ряда отверстий на другой пластине и установить его на уровне $(3,0 \pm 0,1)$ мм и $(6,0 \pm 0,2)$ мм.

Средства крепления другой просверленной пластины к открытой поверхности разделительной пластины должны обеспечивать совпадение отверстий на обеих просверленных пластинах так, чтобы они располагались точно одно над другим.

В иглодержатель вставляют семнадцать игл, имеющие стандартную круглую заточку острия иглы (**R**), метрический размер 90 (размер Зингер 14).

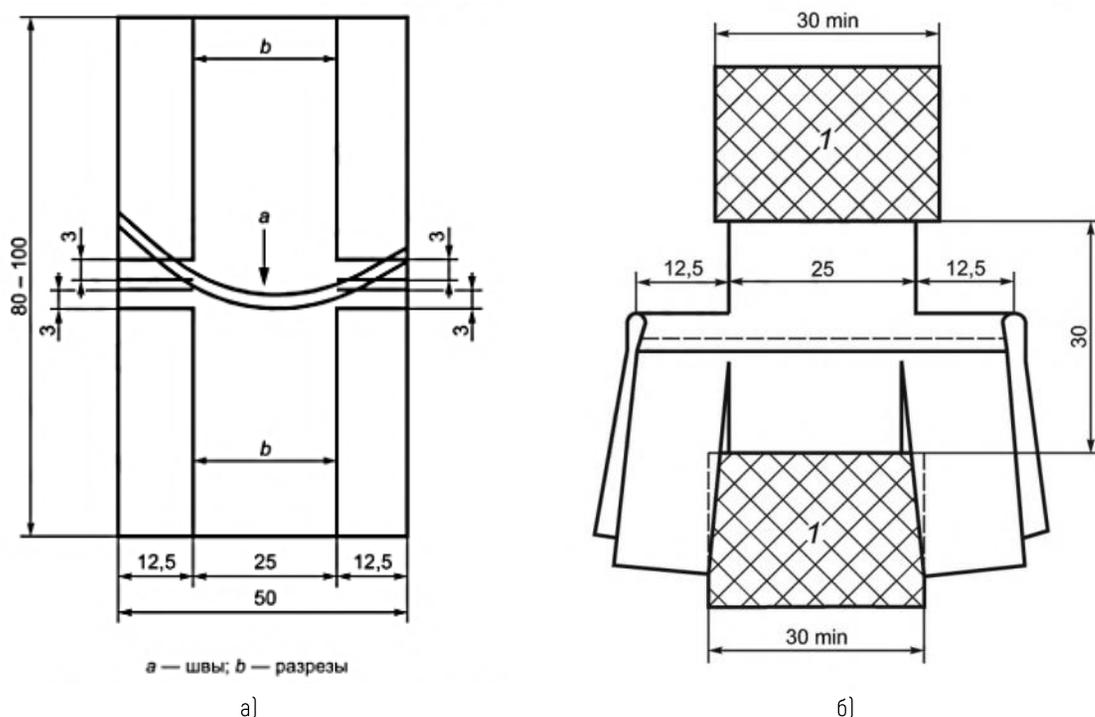


Рисунок 3 – Формы образцов для испытаний ниточных соединений по ГОСТ ISO 17697-2023 по методу В:

а) форма образца; б) проба, зажатая в зажимах разрывной машины

Figure 3 – Sample shapes for testing thread joints according to GOST ISO 17697-2023, Method B:

a) sample shape; b) sample clamped in the clamps of the tensile testing machine

Перед испытанием обувь или неразрезанный листовым материал, или верх выдерживают в контролируемых стандартных атмосферных условиях в соответствии с ISO 18454 в течение не менее 24 ч перед испытанием и проводят испытание в таких же условиях.

Для проведения испытания вырезают шесть испытываемых проб размерами, указанными на рисунке 2. Три испытываемые пробы необходимо вырезать так, чтобы кромка основания Т-образной испытываемой пробы была параллельна продольному направлению материала (для кожи – в направлении хребта, для некожевенных материалов – в направлении основы (кромки) или в продольном направлении), а три испытываемые пробы – в направлении, перпендикулярном к первому.

Образцы, предназначенные для испытания прочности на разрыв шва, вырезаются непосредственно из заготовок верха обуви, в которых материал подкладки неотъемлемо соединен с основным материалом верха.

Если испытания проводятся на отдельных материалах, образцы отбирают из различных участков по всей полезной ширине и длине листового материала. Для тканых структур необходимо обеспечить, чтобы разные образцы не содержали одних и тех же нитей основы или утка.

При вырезке образцов из заготовок верха избегают участков с дефектами (например, отверстиями для шнуровки). Из каждой пары обуви подготавливают шесть образцов Т-образной формы: три образца вырезают так, чтобы основание "Т" было параллельно продольной оси (оси X) обуви в соответствии со стандартом ISO 17709, и три образца – с основанием, перпендикулярным этой оси.

Для некоторых типов обуви, в частности детской, вырезка образца регламентированного размера может быть невозможна, при этом уменьшение его размеров не допускается методикой. В такой ситуации испытания на прочность шва проводятся не на готовом верхе, а на отдельных образцах материалов, из которых он изготовлен, с последующим сшиванием их по заданной технологии.

На каждом Т-образном образце отмечают продольное направление. Сквозь всю толщину образца, параллельно его основанию и на заданном расстоянии от него, прокалывают прямую перфорационную линию с помощью ряда игл. К образцу прикладывают растягивающее усилие в направлении, перпендикулярном линии перфорации, до его выдергивания из-под игл. Прочность

материала в направлении, перпендикулярном игольным отверстиям, рассчитывается как отношение максимально зарегистрированного усилия к ширине образца.

Регулируют иглодержатель так, чтобы расстояние от конца разделительной пластины до центральной линии ряда отверстий в двух других пластинах было следующим:

- эластичные и неплотные материалы – $(6,0 \pm 0,2)$ мм;
- все остальные материалы – $(3,0 \pm 0,1)$ мм.

В каждое из 17 отверстий верхней пластины иглодержателя помещают по одной игле. Положение игл должно соответствовать двум условиям: их острие не должно выступать за внутреннюю плоскость пластины, а паз для нити (желобок) на каждой игле должен быть ориентирован в сторону разделительной пластины устройства.

Испытуемый образец Т-образной формы размещают в иглодержателе. Его основание должно упираться в торец разделительной пластины. При этом необходимо совместить центральное отверстие в рядах отверстий на пластинах держателя с серединой ширины рабочей части образца.

Последовательно продавливают все 17 игл сквозь полную толщину образца и соответствующие отверстия в ответной пластине. Движение игл прекращают в момент, когда их переходный конус (упирающаяся часть) предотвращает дальнейшее погружение. Важно контролировать, что в процессе перфорации первоначальное положение образца относительно иглодержателя не изменилось.

Иглодержатель с закреплённым и перфорированным образцом фиксируют в одном из зажимов разрывной машины. Ориентация должна быть такой, чтобы линия из 17 игл располагалась строго перпендикулярно оси приложения нагрузки машины. Свободный конец образца (длиной не менее 20 мм) зажимают в другом зажиме машины, обеспечивая его расположение по центру зажимных губок.

Регистрируют максимальное усилие, приложенное к зажимам во время испытания, Н, до ближайшего 1 Н, и тип повреждения испытываемой пробы, а именно:

- a) раздир вдоль линии игольных отверстий;
- b) вытягивание нитей, идущих параллельно ряду игл;
- c) сквозной раздир материала от каждой иглы;
- d) повреждение в стороне от игольных отверстий.

Иногда испытываемая проба может иметь повреждения сразу нескольких типов, в этом случае регистрируют все типы повреждения наряду с указанием их относитель-

ного количества.

За результат измерения берет среднее арифметическое значение максимальных усилий, трех испытываемых проб, вырезанных в продольном направлении, и для трех испытываемых проб, вырезанных в поперечном направлении. Для каждого направления: делят среднее арифметическое значение максимального усилия на ширину испытываемой пробы 25 мм, чтобы получить прочность 1), Н/мм, в направлении, перпендикулярном к игольным отверстиям.

Испытания прочности ниточных швов по методу В проводят на разрывной машине со скоростью перемещения зажимов (100 ± 10) мм/мин, с диапазоном усилия, соответствующим испытываемым пробам (обычно до 2 кН), обеспечивающая измерение усилия с точностью до 2 %.

Для подготовки проб используют небольшой острый ручной нож или ножницы для вырезания испытываемых проб. Если испытанию подлежат подготовленные для испытания швы, то для вырезания используют резак, обеспечивающий получение испытываемых проб размерами $(50 \pm 2) \times (50 \pm 2)$ мм.

Образцы для испытаний вырезаются из цельных деталей верха обуви. При наличии достаточной площади материала с помощью ножа изготавливают два прямоугольных образца размерами $(90 \pm 10) \times (50 \pm 2)$ мм, включающих слои подкладки. Шов должен располагаться приблизительно по центральной оси образца, параллельной его длинной стороне (рисунок 3). В случае ограниченных размеров детали допускается уменьшение габаритов образца при условии, что его минимальный размер составляет не менее 10 мм.

На каждом подготовленном образце выполняются два продольных разреза, параллельных длинным краям. Разрезы начинаются от краёв материала и не доходят до линии шва на 3,0 мм. В результате формируется центральная полоса шириной $(25,0 \pm 0,5)$ мм, содержащая шов, и две крайние полосы шириной $(12,5 \pm 0,5)$ мм каждая (рисунок 3б).

Если образцы требуют предварительного соединения материалов методом сшивания, из каждого слоя верха и подкладки, используемого в конструкции, вырезаются заготовки размером $(50 \pm 2) \times (50 \pm 2)$ мм с помощью ручного ножа, ножниц или резака. Количество заготовок определяется конфигурацией шва, который может соединять два идентичных или различных материала верха, а также один или несколько слоёв подкладки. Конструкция может включать армирующие эле-

менты. Общее количество сшиваемых заготовок должно обеспечивать подготовку трёх образцов для испытаний в каждом заданном направлении. Направление испытания (продольное или поперечное) задаётся перпендикулярно оси шва. Количество исследуемых направлений зависит от структуры и конструкции материала верха.

Конструкция также может включать укрепляющие детали. Вырезают необходимое количество кусков, чтобы подготовить три сшитые испытываемые пробы для каждого направления испытания.

Продольное или поперечное направление испытания устанавливают под углом 90° к направлению шва. Количество направлений испытания зависит от конструкции верха.

Достаточно провести отдельные испытания в продольном и поперечном направлениях, но в некоторых случаях может потребоваться подготовка испытываемых проб с продольным и поперечным направлениями в сочетании с направлением материала, вырезанного под углом.

Для некожевенных материалов испытываемые пробы вырезают в разных местах вдоль полезной ширины и длины листового материала. Для материалов с тканой структурой это обеспечивает то, что никакие две испытываемые пробы не будут содержать одни и те же нити основы или утка.

С помощью швейной машины сшивают вместе куски материала квадратной формы чтобы получить по три испытываемых шва для каждого направления испытания.

Для имитации конструкции шва в обуви сшивают вместе два куска натуральной кожи настрочным швом с использованием иглы с круглой заточкой с припуском 2 мм и с 16 стежков на 25 мм. Для образования шва использовались полиэфирные нитки, характеристика которых представлена в таблице 1. Образование швов производилось на машине ф. Pfaff 483 класса.

На каждой испытываемой пробе выполняют разрезы перпендикулярно к шву из точек, расположенных на расстоянии 3 мм от шва, до краев материала, чтобы получить испытываемую пробу с шириной центральной части $(25,0 \pm 0,5)$ мм и шириной двух крайних частей $(12,5 \pm 0,5)$ мм.

Перед проведением испытания измеряют ширину центральной части испытываемой пробы в мм до ближайшего 0,5 мм. Расстояние между зажимами должно быть 30 мм друг от друга.

Таблица 1 – Характеристика швейных ниток
Table 1 – Characteristics of sewing threads

Нитки	Состав	Структура	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	Удельная разрывная нагрузка нитей, сН/текс	Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	Относительное удлинение при разрыве, %
70ЛЛ	полиэфир	армированные с полиэфирной оплеткой	65	25,5	0,36	6,1	16,0
86Л	полиэфир	комплексная нитка	89	50,0	0,33	4,4	20,7

Таблица 2 – Усреднённые значения сопротивления материала к прорезанию по ГОСТ ISO 17697-2023 (Метод А)

Table 2 – Average values of material resistance to cutting according to GOST ISO 17697-2023 (Method A)

Наименование материала	Толщина, мм	Разрывная нагрузка при разрыве, Р, Н	Прочность, Н/мм	Удлинение при разрыве		Тип повреждений при разрыве
				мм	%	
Фиджи (бежевый)	1,68	830	33,2	22	110	сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Фиджи (черный)	1,35	1041	41,6	15	77	сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Фиджи (белый)	1,43	943	37,7	18	91	сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Фиджи (синий)	1,91	1378	55,1	20	101	сквозной раздир материала от каждой иглы (с), повреждение в стороне от игольных отверстий (d)
Santana	1,32	899	36,0	19	96	раздир вдоль линии игольных отверстий (а), сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Калифорния спорт	1,63	1350	54,0	22	110	раздир вдоль линии игольных отверстий (а), сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Тюлип Софти	1,75	1248	49,9	19	96	сквозной раздир материала от каждой иглы (с)
Тигина	1,63	1565	62,6	20	100	сквозной раздир материала от каждой иглы (с)

Для испытуемых проб, вырезанных из верха, который имеет подкладку, не присоединенную к обратной стороне, подкладку отрывают от внешней части, чтобы закрепить внешнюю часть в губках зажима разрывной машины. От самого шва подкладку не отрывают.

Для испытуемых проб, вырезанных из верха с присоединенной подкладкой, в губках зажима зажимают верх вместе с подкладкой.

Закрепляют испытуемую пробу посередине между губками зажима, центральную часть испытуемой пробы между зажимами оставляют такой, чтобы шов располагался параллельно краям зажима на расстоянии 15 мм от каждого зажима. Полосы по краям шириной 12,5 мм не должны быть зажаты. Они должны свободно свешиваться (рисунок 3).

После повреждения испытуемой пробы регистрируют усилие, Н, до ближайшего 1 Н, при котором произошло повреждение (разрывное усилие).

Записывают тип(ы) повреждения, а именно:

- a) повреждение материала по шву;
- b) вытягивание нитки из шва;
- c) разрыв нитки;
- d) повреждение материала вне шва.

По окончании испытания фиксируется разрывная нагрузка и тип повреждения испытуемой пробы. За результат испытания берут среднее арифметическое

значение максимального усилия, деленного на ширину испытуемой пробы 25 мм, определяя прочность шва в Н/мм.

Экспериментальные исследования и обсуждения результатов

Прочность ниточных креплений деталей заготовки обуви должна соответствовать нормам, указанным в ГОСТ 21463-87 «Обувь. Нормы прочности». Согласно стандарту, показатель «разрывная нагрузка» по каждому образцу должен быть не менее 9 Н/мм при одной строчке.

В таблице 2 представлены усредненные значения результатов исследования сопротивления материала прорезанию по ГОСТ ISO 17697-2023 «Обувь. Методы испытания верха, подкладки и вкладных стелек. Прочность швов» по методу А по семи образцам.

Из таблицы 2 видно, что прочность материала имеет высокие значения от 33,2 Н/мм до 62,6 Н/мм в зависимости от материала. Преобладающий характер разрушения испытуемой пробы является «сквозной раздир материала от каждой иглы», что свидетельствует о концентрации напряжений в месте прокола иглой материала.

В таблице 3 представлены результаты исследования прочности ниточных соединений деталей верха обуви по ГОСТ ISO 17697-2023 «Обувь. Метод определения

Таблица 3 – Усреднённые значения прочности шва по ГОСТ ISO 17697-2023 (Метод В)

Table 3 – Average values of weld strength according to GOST ISO 17697-2023 (Method B)

Наименование материала	Толщина, мм	Прочность шва, Н/мм	Удлинение при разрыве		Тип повреждений при разрыве
			мм	%	
Фиджи (черный)	1,42	13,6	22	72	разрыв нитки (с)
Фиджи (белый)	1,60	13,2	24	80	разрыв нитки (с)
Фиджи (синий)	2,07	14,5	26	87	разрыв нитки (с)
Santana	1,22	12,6	25	83	повреждение материала по шву (а), разрыв нитки (с), повреждение материала вне шва (d)
Милано	1,29	13,3	24	81	разрыв нитки (с)
Калифорния спорт	1,72	13,7	23	76	разрыв нитки (с)
Тулип Софти	1,71	13,9	20	67	разрыв нитки (с)
Тигина	1,74	14,9	20	66	разрыв нитки (с)

прочности ниточных швов соединения деталей верха» по методу В.

Результаты исследования прочности шва по методу Б показал, что значение прочности превышает установленную норму и варьируется от 13,2 Н/мм до 14,9 Н/мм. Тип повреждений при разрыве преобладает «разрыв нитки», что свидетельствует о высокой степени сопротивления прорезанию. Эти выводы подтверждаются результатами испытаний по методу А.

Для сравнения полученных результатов по двум стандартам проведены точечные испытания швов для различных заготовок верха мужской и женской обуви весенне-осеннего ассортимента 2025 года. Все заготовки верха обуви были отшиты из натуральной кожи, включая те кожи, которые указаны в таблице 3. Испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9290-76 «Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха». Количество образцов в каждом испытании было по шесть, а общее количество точечных выборок 11, т. е. разных ассортиментов обуви. Таким образом, в таблице 4 представлены результаты всех испытаний от минимальных до максимальных значений показателей свойств.

Анализируя полученные результаты исследований по ГОСТ 9290-76 можно обратить внимание, что характер разрушения «материал верха» указывает на низкое сопротивление материала прорезанию. Низкое значение показателя прочности шва свидетельствует о значительной снижении прочности материала по краям образца, что было отмечено также ранее в публикациях (Буркин А.Н. & Комлева Н.В., 2005; Буркин А.Н. & Комлева Н.В., 2006).

По результатам проведенных исследований были выявлены методологические различия в двух методиках и проанализировано их влияние на результаты испытания, которые представлены в таблице 5.

Как видно из таблицы 5 ГОСТ ISO 17697-2023 имеет ряд преимуществ перед стандартом ГОСТ 9290-72, но и в нем имеются методологические недостатки:

- статический характер испытаний прочности швов, не отражающий усталостную долговечность шва;
- форма образцов, не исключая напряжения на краях образца;
- форма и большие размеры образцов не позволяют их выкраивать из заготовок и обуви;
- отсутствие интегрального показателя качества, что создает затруднение в принятии решений о эксплуатационных свойствах обуви;
- эффективен для приемочного контроля готовой продукции, но не применим для проектирования и прогнозирования прочности ниточных соединений на начальном этапе жизненного цикла изделия.

Кроме того, текст стандарта ГОСТ ISO 17697-2023 имеет ряд технических недостатков:

- не описаны процедуры подготовки образцов точных швов, хотя они прописаны в стандарте;
- не прописано как вырезать образцы из обуви и заготовок если швов имеет криволинейный характер.

Заключение

Проведённое исследование позволяет утверждать, что комплексное изучение прочности ниточных соединений деталей верха обуви сохраняет высокую научную и практическую актуальность, выступая важным элементом обеспечения конкурентоспособности и качества продукции в современной обувной промышленности.

Научная актуальность исследований обусловлена необходимостью разработки новых и совершенствования существующих методов оценки, адекватно отражающих сложный характер эксплуатационных нагрузок при производстве и носки обуви. Как показал анализ, даже современные стандартизированные методики, такие как ГОСТ 9290-72 и ГОСТ ИСО 17697-2023, обладают рядом методологических ограничений, главным из

Таблица 4 – Результаты испытаний прочности ниточных соединений по ГОСТ 9290-76
Table 4 – Results of testing the strength of thread connections according to GOST 9290-76

Наименование материала	Толщина, мм	Прочность шва, Н/мм	Удлинение при разрыве, %	Тип возникших повреждений при разрыве
Натуральная кожа	1,3–1,8	0,63–10,8	68–118	Материал (вверх)

Таблица 5 – Сравнительный анализ методов испытания прочности ниточных швов деталей верха обуви
Table 5 – Results of testing the strength of thread connections according to GOST 9290-76

Критерии сравнения	ГОСТ 9290-72 «Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха»	ГОСТ ISO 17697-2023 «Обувь. Методы испытания верха, подкладки и вкладных стелек. Прочность швов»	Анализ и последствия различий
1. Область применения и количество методов оценки	Распространяется на обувь из натуральной, искусственной и синтетической кожи, текстиля, комбинированную всех видов, конструкций и назначений. Один универсальный метод для определения прочности ниточных соединений	Распространяется на верх, подкладку или вкладные стельки обуви, вне зависимости от материала. Устанавливает два метода испытаний: 1. метод А: определяет прочность материала на перфорацию иглами (оценка сопротивления прорезанию); 2. метод В: определяет прочность на разрыв ниточных швов в материалах верха и подкладки	ГОСТ ISO 17697 обеспечивает комплексный подход, позволяя оценить не только прочность шва, но и сопротивление материала повреждению иглой, что важно для прогнозирования долговечности. Однако в стандарте отсутствует интегральный показатель, объединяющий прочность шва (метод В) и сопротивление прорезанию (метод А), что затрудняет однозначную оценку и сравнение различных комбинаций «материал – шов – технология»
2. Форма и подготовка образцов	Регламентирована для каждого типа обуви. Образцы вырезаются из обуви размерами 45x40 мм с рабочей частью 25x40 мм. Требуется закрепления краевых стежков дополнительной ниткой	Образцы можно вырезать из готовой обуви размерами 90x50 мм либо сшивать вырезанные из материала квадраты размерами 50x50 мм. При проведении испытаний на образцах делают надрезы для создания центральной части шириной (25,0±0,5) мм	Отсутствие необходимости в ручном закреплении стежков снижает трудоемкость в подготовке образцов по ГОСТ ISO 17697 и частично исключает краевые эффекты в зоне шва
3. Количество испытаний	В зависимости от места вырубki пробы вырезают 3–4 пробы	Для испытания по методу А вырезают 6 проб, по методу В вырезают две пробы	В обоих методах недостаточное количество проб
4. Оборудование	Разрывная машина со скоростью перемещения зажимов (100±10) мм/мин	Разрывная машина со скоростью перемещения зажимов (100±10) мм/мин с точностью до 2 %	В ГОСТ ISO 17697-20023 прописана погрешность средства измерения, что позволяет воспроизводить испытания с одинаковой точностью
5. Подход к оценке прочности шва	Определяют прочность шва (Р, Н) на длину строчки на испытанном образце между крайними проколами и коэффициент прочности шва (К, %) – отношение прочности к прочности материала	Определяют только прочность шва Н/мм	Подход к оценке прочности шва одинаков. Однако сравнительный анализ затруднен в виду разных размеров рабочей части образцов
6. Обработка результатов испытания	Фиксируется разрывная нагрузка и характер разрушения (по шву или в материале)	Фиксируется разрывная нагрузка и детализируется тип разрушения с использованием стандартизированной классификации (разрыв нитки, повреждение материала по шву и т. д.)	Детальная классификация характера разрушения в ГОСТ ISO 17697 предоставляет информацию для анализа прочности ниточных соединений и совершенствования технологий (выбор нитки, иглы, натяжения)

которых является статический характер испытаний, не позволяющий в полной мере оценить усталостную долговечность шва в условиях реальной эксплуатации. Это создает обширное поле для научных изысканий в области разработки циклических и комплексных критериев оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви.

На практическом уровне значимость работы заключается в её непосредственном прикладном значении для инженерно-технологических служб предприятий. Результаты таких исследований позволяют:

- перейти от эмпирического подбора параметров шитья к научно обоснованной оптимизации технологических процессов, минимизируя брак и сокращая материальные затраты;
- обеспечить требуемый уровень эксплуатационной надежности и безопасности изделия, что особенно критично для специальной обуви;
- эффективно интегрировать в производство новые перспективные материалы, разрабатывая для них адекватные методы соединения и обеспечивая тем самым технологический суверенитет предприятий.

Таким образом, исследование прочности ниточных швов является не узкоспециализированной задачей, а комплексной междисциплинарной проблемой, находящейся на стыке материаловедения и технологии. Ее успешное решение способствует созданию высококачественной, долговечной и конкурентоспособной продукции, отвечающей вызовам современного рынка.

Дальнейшие изыскания в данном направлении целесообразно сосредоточить на разработке прогнозных моделей долговечности швов и создании интегрированных систем оценки, сочетающих методы физического эксперимента и компьютерного моделирования. Перспективным направлением исследований является разработка дополнений к стандартным методам, учитывающие динамические нагрузки и создание комплексных критериев оценки качества ниточных соединений.

Дальнейшие изыскания в данном направлении целесообразно сосредоточить на разработке прогнозных моделей долговечности швов и создании интегрированных систем оценки, сочетающих методы физического эксперимента и компьютерного моделирования. Перспективным направлением исследований является разработка дополнений к стандартным методам, учитывающие динамические нагрузки и создание комплексных критериев оценки качества ниточных соединений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Аревкова, М.В., Шварц, А.С., Гаврилов, С.Н. и Шаньгина, В.Ф. (1975). *Влияние нагрева иглы швейной машины на прочность ниточных швов заготовок обуви (Экспресс-информация. Обувная промышленность)*. Москва: ЦНИИТЭИлегпром, Российская Федерация.

Буркин, А.Н. и Комлева, Н.В. (2005). Анализ методов оценки ниточных швов. *Новости. Стандартизация и сертификация*, vol. № 1, pp. 46–48.

Буркин, А.Н. и Комлева, Н.В. (2006). Методика оценки свойств обувных ниток в динамике, *Потребительская кооперация*, vol. № 1 (12), pp. 57–60.

Калугина, И.А. и Леденева, И.Н. (2012). Совершенствование классификации факторов, влияющих на качество ниточного соединения в заготовке верха обуви. *Дизайн и технологии*, vol. № 31(73), pp. 20–25.

Куприянов, Л.М. (2015). Управление качеством продукции как фактор устойчивого бизнеса, *Мир новой экономики*, vol. № 4, pp. 89–100.

Леденева, И.Н., Литвин, Е.В., Белгородский, В.С. и Сницар, Л.Р. (2022). Плоскошовные ниточные соединения – решение проблемы прочности свойств верха войлочной обуви, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, vol. № 6, pp. 130–135.

Леденев, М.О. и Леденева, И.Н. (2011). Влияние технологии сборки заготовки обуви из войлока на качество ниточных швов, *Дизайн и технологии*, vol. № 23, pp. 24–31.

Пряник, Н.Н., Борозна, В.Д. и Буркин, А.Н. (2025). Анализ и совершенствование методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, vol. № 1 (51), pp. 64–76.

Barbulov-Popov, D. Nenad Cirkovic and Jovan Stepanovic (2012). The influence of stitch density and of the type of sewing thread on seam strength, *TEM journal*, vol. 1, pp. 104–110.

Borse, S., Sonawane, K.V. and Kakde, M. (2020). Review on Analysis of Seam Quality. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *IntechOpen*.

Chen, J.C., Aryka Pradhana Putra, Nikita Anggono, Jeff. Chen and Yung-Sheng Su (2014). Simulation modeling and analysis for stitching line of footwear industry. *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, P. 1099–1106.

Ghani, S.A. (2011). *Seam Performance: analysis and modelling*: Doc. of Ph. Suzaini Abdul Ghani, 209 p.

Harnagea, F., Iovan Dragomir, A. and Secan, C. (2016). Study regarding the stitching strength of materials used for footwear uppers manufacturing. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles*, vol. 17, pp. 159–162.

Kordoghli, B.C., Saidene K. and Cheikhrouhou, M. (2011). Mechanical and Chemical Analysis of Seam Behaviour. *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 36, pp. 1367–1380.

Kordoghi, B., Cheikhrouhou, M. and Saidene, C.K. (2009). Mechanical behavior of seams on treated fabrics. *AUTEX Research Journal*, vol.9, pp. 87–92.

REFERENCES

Arevkova, M.V., Shvarts, A.S., Gavrilov, S.N. and Shangina, V.F. (1975). *Vliyaniye nagreva igli shveinoi mashini na prochnost nitochnikh shvov zagotovok obuvi (Ekspress-informatsiya. Obuvnaya promishlennost)* [Influence of heating of sewing machine needle on strength of thread seams of shoe blanks [Express-information. Shoe industry]]. Moscow: TsNIITElegprom, Russian Federation [In Russian].

Burkin, A.N. and Komleva, N.V. (2005). Analysis of methods of evaluation of thread sutures [Analiz metodov ocenki nitochnykh shvov]. *Novosti. Standartizatsiya i sertifikatsiya = News. Standardization and Certification*, vol. 1, pp. 46–48 [In Russian].

Burkin, A.N. and Komleva, N.V. (2006). Methodology for assessing the properties of shoe threads in dynamics [Metodika ocenki svoystv obuvnykh nitok v dinamike]. *Potrebitel'skaya kooperatsiya = Consumer cooperatives*, vol. 1 (12), pp. 57–60 [In Russian].

Kalugina, I.A. and Ledeneva, I.N. (2012). Improvement of classification of factors affecting the quality of threaded joint in a shoe upper blank [Sovershenstvovanie klassifikatsii faktorov, vliyayushchih na kachestvo nitochnogo soedineniya v zagotovke verha obuvi]. *Dizajn i tekhnologii = Design and Technology*, vol. 31 (73), pp. 20–25 [In Russian].

Kupriyanov, L.M. (2015). Product quality management as a factor in sustainable business [Upravleniye kachestvom produktsii kak faktor ustoychivogo biznesa], *Mir novoy ekonomiki = The World of the New Economy*, vol. 4, pp. 89–100 [In Russian].

Ledeneva, I.N., Litvin, E.V., Belgorodsky, V.S. and Snitsar, L.R. (2022). Flat-seam thread joints – a solution to the problem of strength properties of the upper of felt shoes, News of higher educational institutions [Ploskoshovnyye nitochnye soedineniya – reshenie problemy prochnosti svoystv verha vojlochnoy obuvi]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, vol. 6, pp. 130–135 [In Russian].

Ledenev, M.O. and Ledeneva, I.N. (2011). The influence of the assembly technology of felt shoe blanks on the quality of thread seams [Vliyaniye tekhnologii sborki zagotovki obuvi iz vojloka na kachestvo nitochnykh shvov]. *Dizajn i tekhnologii = Design and technology*, vol. 23, pp. 24–31 [In Russian].

Pryanik, N.N., Borozna, V.D. and Burkin, A.N. (2025). Analysis and improvement of the methodology for assessing the strength of thread joints of shoe upper parts [Analiz i sovershenstvovanie metodiki ocenki prochnosti nitochnykh soedinenij detalej verha obuvi]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, vol. No. 1 (51), pp. 64–76 [In Russian].

Barbulov-Popov, D. Nenad Cirkovic and Jovan Stepanovic (2012). The influence of stitch density and of the type of sewing thread on seam strength, *TEM journal*, vol.1, pp. 104–110.

Borse, S., Sonawane, K.V. and Kakde, M. (2020). Review on Analysis of Seam Quality. Chemistry and Technology of Natural and Synthetic Dyes and Pigments. *IntechOpen*.

Chen, J.C., Aryka Pradhana Putra, Nikita Anggono, Jeff. Chen and Yung-Sheng Su (2014). Simulation modeling and analysis for stitching line of footwear industry. *Proceedings of the 2014 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, P. 1099–1106.

Ghani, S.A. (2011). *Seam Performance: analysis and modelling*: Doc. of Ph/ Suzaini Abdul Ghani, 209 p.

Harnagea, F., Iovan Dragomir, A. and Secan, C. (2016). Study regarding the stitching strength of materials used for footwear uppers manufacturing. *Annals of the University of Oradea. Fascicle of Textiles*, vol 17, pp. 159–162.

Kordoghli, B.C., Saidene K. and Cheikhrouhou, M. (2011). Mechanical and Chemical Analysis of Seam Behaviour. *Arabian Journal for Science and Engineering*, vol. 36, pp. 1367–1380.

Kordoghi, B., Cheikhrouhou, M. and Saidene, C.K. (2009). Mechanical behavior of seams on treated fabrics. *AUTEX Research Journal*, vol. 9, pp. 87–92.

Информация об авторах

Information about the authors

Борозна Вилия Дмитриевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: wilij@mail.ru

Буркин Александр Николаевич

Доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: a.burkin@tut.by

Пряник Наталья Николаевна

Аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: s_kotik_ne@mail.ru

Молочко Александр Николаевич

Директор ЧТПУП «Ильвада», аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

Vilia D. Borozna

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: wilij@mail.ru

Alexander N. Burkin

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Professor at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: a.burkin@tut.by

Natalia N. Pryanik

Postgraduate Student at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: s_kotik_ne@mail.ru

Alexander N. Molochko

Director of ChTPUP "Ilvada", Postgraduate Student at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

Влияние температурно-временной экспозиции на свойства ионитов на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоты

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

*Белорусский государственный университет пищевых
и химических технологий, Республика Беларусь*

Аннотация. С целью разработки способа придания нерастворимости ионогенным сополимерам акрилонитрила (АН) и 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислоты (АМПС) (с содержанием последней 20; 25; 30 % (масс.)) они были подвергнуты термической обработке в течение различного времени при 100 °С, 140 °С, 160 °С и 200 °С. Оценена эффективность такой модификации путем изучения растворимости опытных образцов в диметилформамиде, в результате чего установлены условия термообработки, в которых достигается снижение степени набухания вплоть до потери растворимости ионогенными сополимерами на основе АН и АМПС.

Оценена статическая обменная емкость (СОЕ) исходных и термически обработанных образцов ионитов на основе поли[АН-со-АМПС] по сорбции ионов натрия, а также сорбционная способность образцов по отношению к ионам цинка, никеля.

Установлено, что модификация изученных ионитов путем термообработки при 100 и 200 °С приводит к увеличению их СОЕ. При этом сорбционные свойства ионитов изменяются неоднозначно. Так, практически во всех случаях количество сорбированных ионов цинка превышает значения СОЕ. По отношению к ионам никеля все термообработанные образцы ионитов проявляют практически одинаковую сорбционную активность (1,00±0,15 ммоль-экв/г). При этом количество сорбированных ионов Ni²⁺ в 2–4 раза меньше значений СОЕ.

Ключевые слова: акрилонитрил, 2-акриламид-2-метилпропансульфо кислота, сополимер, ионит, модификация, растворимость, сорбция, статическая обменная емкость.

Информация о статье: поступила 19 ноября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

The effect of temperature and time exposure on the properties of acrylonitrile- and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid-based ion exchangers

**Vera M. Chykunskaya, Valery A. Ogorodnikov,
Leonid A. Shcherbina, Iryna A. Budkute**

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,
Republic of Belarus*

Abstract. To develop a method for imparting insolubility to ionogenic copolymers of acrylonitrile (AN) and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) (with the latter content of 20, 25, and 30 % (wt)) they were subjected to heat treatment for various periods of time at 100 °C, 140 °C, 160 °C, and 200 °C. The effectiveness of this modification was assessed by studying the solubility of test samples in dimethylformamide, as a result of which heat treatment conditions were determined that achieved a reduction in the degree of swelling up to the loss of solubility of ionogenic copolymers based on AN and AMPS.

The static exchange capacity (SEC) of the original and heat-treated poly[AN-co-AMPS] ion-exchange resins was determined for sodium ion sorption. Additionally, their sorption capacity for zinc and nickel ions was measured.

It was found that modification of the studied ion exchangers by heat treatment at 100 and 200 °C leads to an increase in their SEC. However, the sorption properties of the ion exchangers change ambiguously. Thus, in almost all cases, the amount of sorbed zinc ions exceeds the SEC values. With respect to nickel ions, all heat-treated ion exchanger samples exhibit virtually identical sorption activity (1.00±0.15 mmol-eq/g). However, the amount of sorbed Ni²⁺ ions is 2–4 times lower than the SEC values.

Keywords: acrylonitrile, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, copolymer, ion exchange resin, modification, solubility, sorption, static exchange capacity.

Article info: received November 19, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Разработка ионообменных полимерных материалов имеет большое значение, поскольку ионный обмен занимает важное место среди основных методов разделения, концентрирования разнообразных веществ или извлечения ионов из водных сред. Значения емкости и избирательности по отношению к целевым ионам являются основными характеристиками при выборе сорбента для практического применения (Ергожин и др., 2015; Петухова, Кисель и Ильина, 2019; Ahmad et al., 2019). Иониты, проявляющие высокую селективность к некоторым ионам или группам ионов, как правило, содержат функциональные группы, способные образовывать комплексы с катионами металлов.

Одним из классов сорбционных материалов, применяющихся для разделения и концентрирования ионов металлов, являются модифицированные сополимеры акрилонитрила. Свойства таких сорбентов в значительной степени определяются природой введенных в их структуру функциональных групп. Кроме того, определенное влияние на их свойства оказывает природа полимерной матрицы, например, ее термодинамическая гибкость, растворимость в водных и неводных средах и др.

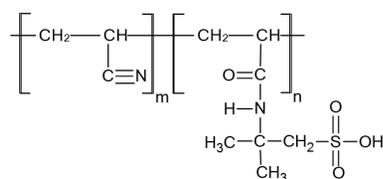
Кафедра «Химия и технология высокомолекулярных соединений» Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий на протяжении последних лет занимается разработкой ионообменных материалов на основе сополимеров акрилонитрила (АН). Такой объект исследований был выбран по причине широких возможностей его химической модификации различными способами: и путем сополимеризации акрилонитрила с сомономерами различной химической природы, и путем реакций прививочной сополимеризации, и путем полимераналогичных превращений.

В частности, на кафедре синтезированы сополимеры АН и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) с различным содержанием кислотного сомомера (КС) (Щербина, 2022, Щербина и др., 2022). Увели-

чение содержания КС приводит к увеличению обменной ёмкости ионита. Однако работа с материалами на основе поли[АН-со-АМПС] с содержанием АМПС более 25 % (масс.) затруднена вследствие сильного набухания этих полимеров в воде. Известно, что особенностью структуры нерастворимых гелей является наличие межмолекулярных химических связей. В ряде работ (Bouchoum et al., 2019; Rani, Praveen and Kumar 2018a, 2018b; Нестеренок, 2014; Tham, 2017; Jin et al., 2017; Гафурова и др., 2014) большое внимание уделяется химической модификации ионитов на основе АН путем обработки различными реагентами. Однако такой вариант придания нерастворимости имеет ряд недостатков. Основным из них является само по себе использование химических веществ, что сопряжено с дополнительными материальными затратами, усложнением условий проведения процессов по причине небезопасности для человека и окружающей среды, поскольку многие из модификаторов или продуктов реакций обладают токсичными, канцерогенными и тому подобными свойствами. Поэтому авторами работы была выдвинута гипотеза о возможности придания нерастворимости поли[АН-со-АМПС] с высоким содержанием кислотного сомомера посредством термической обработки сополимера. В связи с этим целью данного исследования явилась оценка влияния температурно-временной экспозиции поли[АН-со-АМПС] на набухание и растворимость данных ионообменных материалов, а также их сорбционные свойства.

Объекты, методы и средства исследования

Объектом исследования явились сополимеры акрилонитрила (АН) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) с содержанием последней 20, 25, 30 % (масс.):



Термообработку образцов ионитов проводили в термошкафу при определенной температуре.

Кратность набухания в различных средах сополимеров оценивали по изменению диаметра жилок, обработанных при определенной температуре, по отношению к исходной, свежесформованной жилке. Диаметр жилок оценивали с помощью штангенциркуля с погрешностью $\pm 0,5$ мм.

Для определения количества ионогенных групп образцов поли[АН-со-АМПС] оценивали предельные значения СОЕ по ионам Na^+ . Для этого навеску сорбента в H^+ -форме массой 1 г (в пересчете на сухой материал) заливали 100 см³ 0,1 н раствора NaOH и оставляли на 2 суток. Емкость ионита определяли титрованием избытка щелочи 0,1 н раствором HCl. Отклонение результатов измерений от средних значений составило $\pm 0,1$ ммоль-экв/г.

Для определения количества сорбированных ионов металлов образец ионита в H^+ -форме заливали 100 см³ раствора сорбата (сульфата цинка или сульфата нике-

ля). После наступления равновесия определяли равновесную концентрацию ионов металла в растворе. Затем ионит извлекали из этого раствора, переносили в новый сосуд и заливали исходным раствором сорбата (второе погружение) в количестве 100 см³; после установления равновесия снова измеряли вышеуказанный параметр системы. Аналогично проводили третье погружение. Концентрацию ионов металла в растворах определяли методом комплексонометрического титрования в присутствии аммиачного буфера и индикатора эриохром черный Т. Отклонение результатов измерений от средних значений составило $\pm 0,15$ ммоль-экв/г.

Результаты исследований

Известно, что наиболее широко применяемым растворителем для сополимеров АН является диметилформамид (ДМФ). Поэтому большой интерес представляет изучение растворимости термообработанных образцов поли[АН-со-АМПС] в данном растворителе. В таблице 1 представлены результаты исследования влияния условий термообработки поли[АН(80)-со-

Таблица 1 – Влияние температурно-временной экспозиции на набухание поли[АН(80)-со-АМПС(20)] в диметилформамиде

Table 1 – Effect of temperature-time exposure on swelling of poly[AN(80)-co-AMPS(20)] in dimethylformamide

Продолжительность, мин	Температура, °С					
	100	120	140	160	180	200
13	р	р	р	р	р	р
15	р	р	р	р	р	0
17	р	р	р	р	0	-
19	р	р	р	0	0	-
21	р	р	р	0	0	-
23	р	р	0	0	-	-
25	р	р	0	0	-	-
27	р	0	0	-	-	-
29	р	0	0	-	-	-
31	р	0	0	-	-	-
33	0	0	-	-	-	-
35	0	-	-	-	-	-
37	0	-	-	-	-	-
39	0	-	-	-	-	-
41	-	-	-	-	-	-

Примечание: «р» – неограниченное набухание (растворение); «0» – ограниченное набухание; «-» – отсутствие видимого набухания.

АМПС[20]] на способность растворяться в ДМФ. Минимальная температура выдерживания образцов составила 100 °С, поскольку, как известно из литературных источников (Toms et al., 2020; Sen, 2003; Wang and Xin, 2025), ниже этого значения в сополимерах АН практически не происходит химических превращений, по крайней мере, в течение относительно непродолжительного времени. При температуре более 200 °С, наоборот, начинаются многочисленные химические реакции в полимерном субстрате, что негативно будет отражаться на химической структуре ионитов, вплоть до снижения сорбционной способности. Промежутком времени, через который осуществляли отбор образцов из термошкафа, составлял 2 мин. Это позволило выбрать условия термообработки всех видов образцов сополимеров АН, поскольку было установлено, что в течение примерно 30 минут сополимер теряет способность растворяться в ДМФ, через 40 минут – способность набухать (даже при обработке при самой низкой температуре (100 °С). При проведении эксперимента над образцами, содержащими большее количество АМПС (25 и 30 % (масс.)), продолжительность термообработки увеличили до 50–60 минут с целью обеспечения большей интенсивности их сшивки макромолекул.

Для ионообменных полимерных материалов набухание является важной характеристикой, так как недостаточное набухание приводит к недоступности значительной доли ионообменных групп, а чрезмерное набухание

приводит к увеличению продолжительности процесса насыщения сорбента сорбатом, а также к существенной потере прочности ионита. Поэтому была проанализирована кратность набухания образцов поли[АН-со-АМПС-Н], подвергнутых термообработке, в разных средах. Полученные результаты (рисунки 2–4) свидетельствуют о том, что по мере увеличения температуры термического воздействия на иониты сокращается кратность их набухания. По-видимому, причиной этого является увеличение количества межмолекулярных химических связей, что и являлось целью проведения такого рода модификации ионитов.

Поскольку в результате термообработки была достигнута цель модификации – ограничение растворимости ионитов, то следующим этапом исследования явилось изучение изменения их сорбционных свойств в результате модификации. Результаты определения статической обменной емкости (СОЕ) образцов ионитов по ионам натрия представлены на рисунке 5 (сорбент погружали в водный раствор сорбата в сухом состоянии). Также на рисунке представлены расчетные значения (РЗ) СОЕ.

Наибольшее значение СОЕ наблюдаются в случае ионитов, термообработанных при 140 и 200 °С. По-видимому, при температуре 100 °С, в результате повышения сегментарной подвижности макромолекул (процесс расстекловывания), происходит перестройка структуры полимерного субстрата, что приводит к увеличению

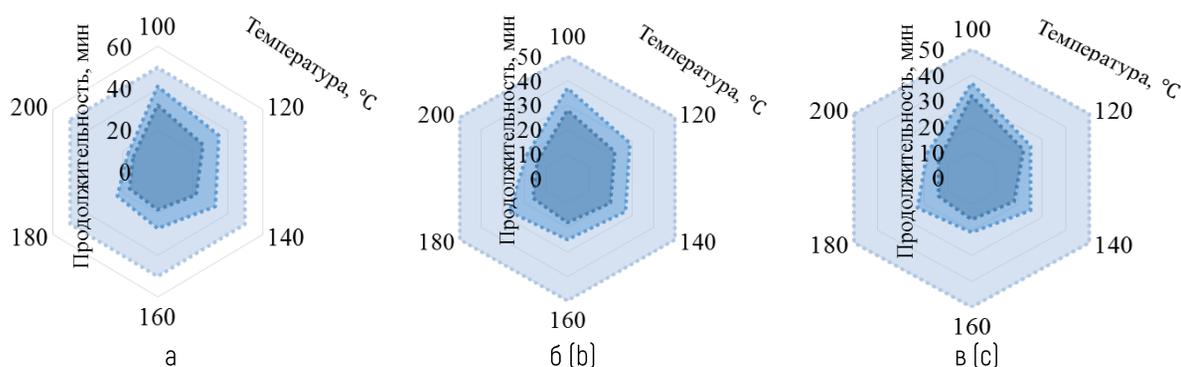


Рисунок 1 – Влияние продолжительности и температуры термообработки образцов поли[АН-со-АМПС] на их растворимость в ДМФ (при содержании кислотного сомомера: а – 20 %, б – 25 %, в – 30 %)

Figure 1 – Effect of duration and temperature of heat treatment of poly[AN-co-AMPS] samples on their solubility in DMF (with an acid comonomer content of: a – 20 %, b – 25 %, c – 30 %)

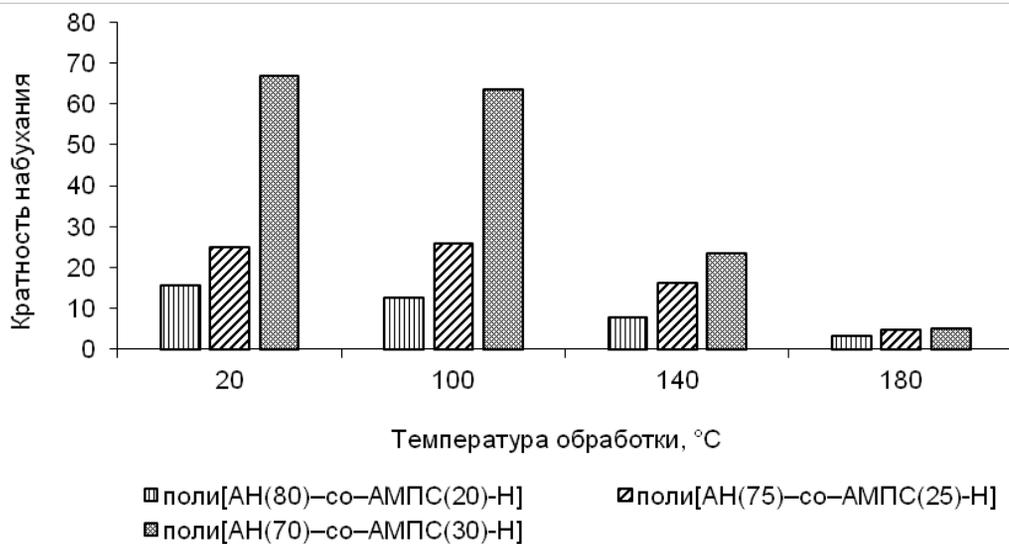


Рисунок 2 – Влияние температуры термообработки гранулированных ионитов на основе поли[АН-со-АМПС] в течение часа на их набухание в воде
 Figure 2 – Effect of heat treatment temperature of granular ion exchange resins based on poly[AN-co-AMPS] for one hour on their swelling in water

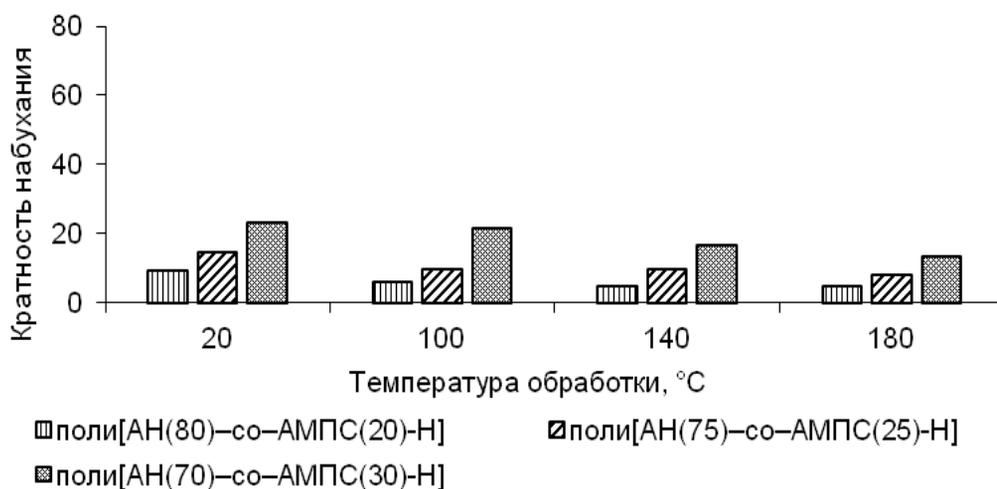


Рисунок 3 – Влияние температуры термообработки гранулированных ионитов на основе поли[АН-со-АМПС] в течение часа на их набухание в 0,1N растворе NaOH
 Figure 3 – Effect of heat treatment temperature of granulated ion exchange resins based on poly[AN-co-AMPS] for one hour on their swelling in a 0.1N NaOH solution

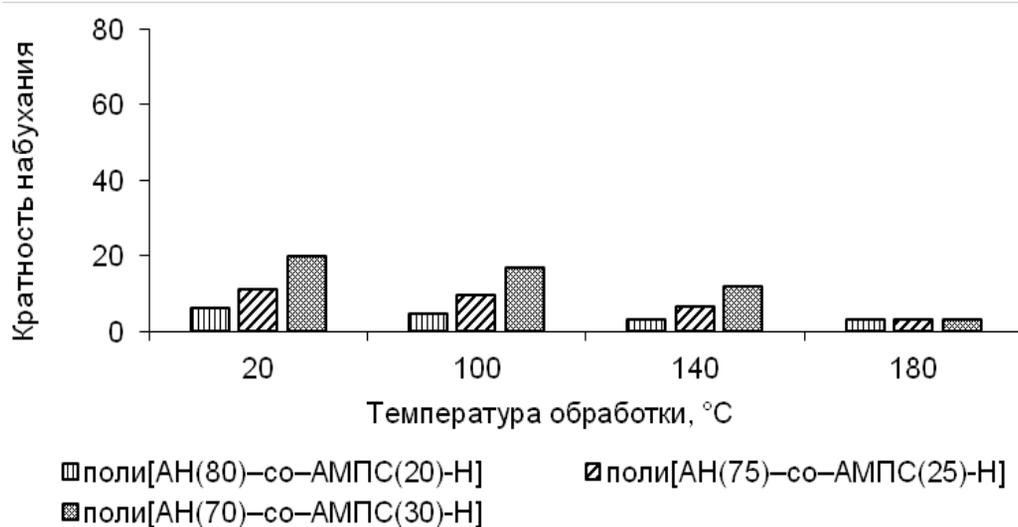


Рисунок 4 – Влияние температуры термообработки гранулированных ионитов на основе поли[АН-со-АМПС] в течение часа на их набухания в 0,1 н растворе HCl

Figure 4 – Effect of heat treatment temperature of granular ion exchange resins based on poly[AN-co-AMPS] for one hour on their swelling in a 0.1 N HCl solution

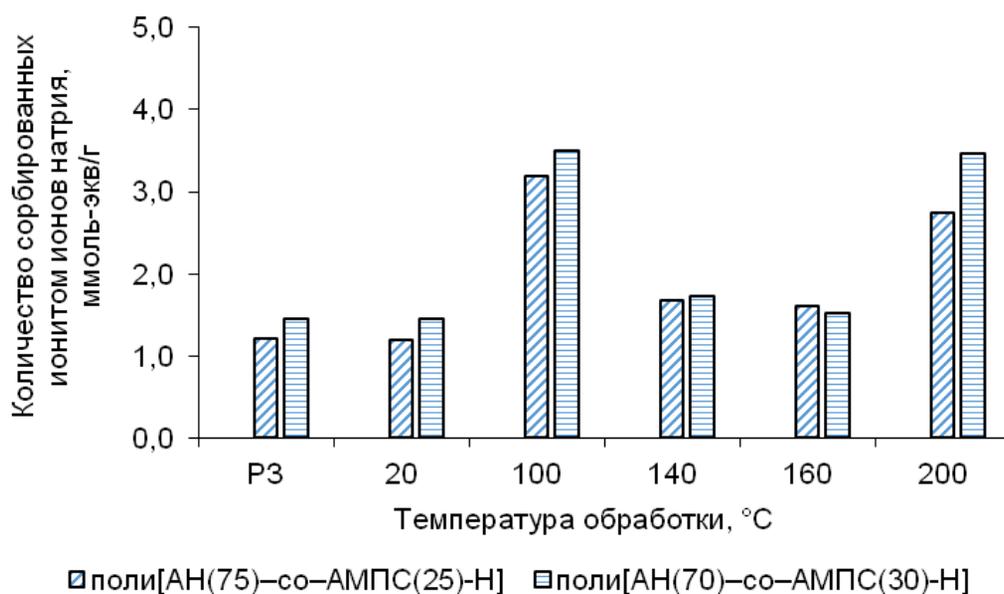


Рисунок 5 – Влияние термообработки на COE (количество ионов Na⁺, сорбированных из 0,1 н раствора NaOH) ионитов на основе поли[АН-со-АМПС-Н]

Figure 5 – Effect of heat treatment on the COE (the amount of Na⁺ ions sorbed from a 0.1 N NaOH solution) of ion exchange resins based on poly[AN-co-AMPS-N]

фактических значений СОЕ. Дальнейшее повышение температуры до 140–180 °С приводит к компактилизации надмолекулярной структуры, что уменьшает доступность функциональных группировок и снижает СОЕ.

Что касается термообработки образцов при 200 °С, то повышение СОЕ можно объяснить высокой вероятностью протекания при указанной температуре окислительных процессов, приводящих к накоплению в полимерном субстрате карбоксильных групп.

Таким образом, сложный характер зависимости сорбционной активности ионитов от температуры их термообработки может быть обусловлен изменением при высоких температурах полимерной структуры сорбента, протеканием конкурирующих процессов: сшивки макромолекул и окисления с образованием карбоксильных групп.

На рисунках 6, 7 представлены результаты изучения сорбционной способности термообработанных образцов поли[АН(75)–со–АМПС(25)] и поли[АН(70)–со–АМПС(30)], соответственно, по отношению к ионам цинка и никеля.

Из данных, представленных на рисунке 6, видно, что количество ионов цинка, сорбированных немодифицированным образцом поли[АН(75)–со–АМПС(25)], значительно превышает СОЕ (по ионам Na⁺). Термообработка ионита при 100 и 140 °С приводит к некоторому повышению сорбционной способности по ионам цинка. Дальнейшее повышение температуры модификации до 160–200 °С приводит к уменьшению количества сорбированных ионов цинка. В случае ионов никеля превышения количества сорбированных ионов, по сравнению с расчетным и экспериментальными значениями СОЕ, не наблюдается ни до термообработки, ни после нее. Более того, имеется тенденция к снижению сорбционной активности сорбента на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)] по отношению к никелю. Такой результат позволяет надеяться на увеличение избирательности сорбции ионов цинка ионитами на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)] в сравнении с ионами никеля.

Термообработка образцов поли[АН(70)–со–АМПС(30)] при различных температурах приводит к резкому уменьшению их сорбционной способности по отношению к

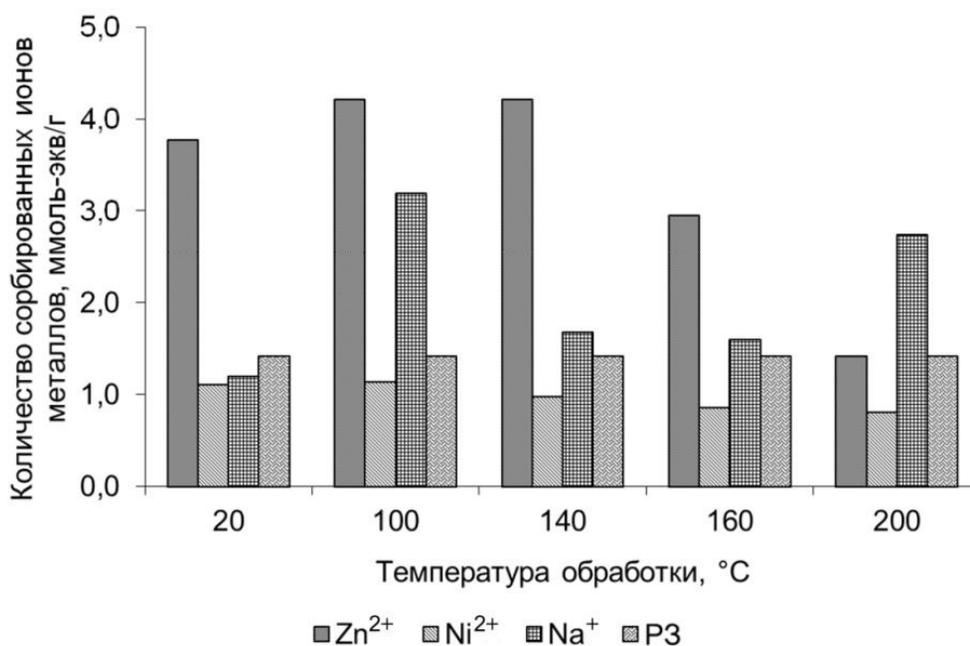


Рисунок 6 – Влияние температуры термообработки поли[АН(75)–со–АМПС(25)] на количество ионов металлов, сорбированных из 0,1 N растворов сорбатов
 Figure 6 – Effect of heat treatment temperature of poly[АН(75)–со–АМПС(25)] on the amount of metal ions sorbed from 0,1 N sorbate solutions

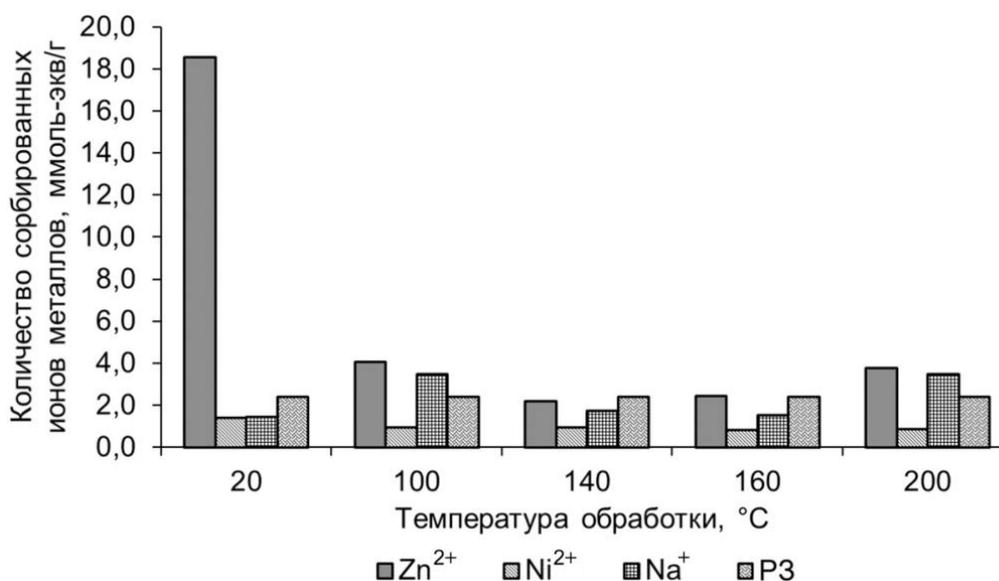


Рисунок 7 – Влияние температуры термообработки поли[АН(70)–со–АМПС(30)] на количество ионов металлов, сорбированных из 0,1 N растворов сорбатов
 Figure 7 – Effect of heat treatment temperature of poly[AN(70)–co–AMPS(30)] on the amount of metal ions sorbed from 0.1 N sorbate solutions

ионам цинка. При этом сорбционная активность ионита на основе поли[АН(70)–со–АМПС(30)] снижается до значений, близких к сорбционной активности ионита на основе поли[АН(75)–со–АМПС(25)]. Важно отметить и то, что результате термообработки при 100 и 200 °C, для ионита, содержащего в своей структуре 30 % (масс.) АМПС, отмечается некоторый рост сорбционной способности к ионам цинка.

Выводы

Модификация ионитов на основе сополимеров АН и АМПС путем термообработки приводит к снижению их способности к набуханию и растворению в водных средах и в диметилформамиде. При этом изменение сорбционных свойств ионитов на основе поли[АН–со–АМПС] в результате термообработки имеет сложный характер. Так, в результате выдерживания образцов с определенной длительностью при температурах 100 и 200 °C их СОЕ увеличивается, а при температурах 140 и 180 °C – уменьшается. Установлено, что практически во всех случаях количество сорбированных ионов Zn²⁺ превышает значения СОЕ. В то же время сорбционная активность ионитов по отношению к ионам Ni²⁺ в результате тер-

мообработки существенно не изменяется и составляет (1,00±0,15) ммоль-экв/г, что во всех случаях ниже значения СОЕ (по ионам натрия).

Это позволяет полагать, что сорбция цинка ионитами на основе поли[АН–со–АМПС] основана не только на процессах ионного обмена, но и на возможности комплексообразования с ионитом, имеющим определенную первичную структуру.

Таким образом, в результате проведенной работы продемонстрирована возможность изменения степени набухания ионогенных сополимеров на основе АН и АМПС, а также их сорбционной активности в результате термической обработки, что позволяет рассматривать перспективы использования рассматриваемых сорбентов в процессах селективного разделения ионов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Гафурова, Д.А., Шахидова, Д.Н., Мухамедиев, М.Г. и Мухамедов, Г.И. (2014). Механизм каталитического влияния гидроксилamina на реакцию полиакрилонитрила с азотсодержащими основаниями. *Журнал физической химии*, Т. 88, № 11, С. 1851–1854.

Ергожин, Е.Е., Чалов, Т.К., Никитина, А.И. и ХакиMBOLATOва, К.Х. (2015). Изучение селективности сорбции катионов тяжелых металлов новым макропористым анионитом. *Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология*, Т. 58, № 10, С. 85–89.

Нестеронок, П.В., Косандрович, Е.Г., Шаченкова, Л.Н. и Коршунова, Т.А. (2014). Каталитический способ получения полиамфолитов на основе полиакрилонитрильного волокна. *Вести Национальной академии наук Республики Беларусь. Серия химических наук*, № 4, С. 80–87.

Петухова, Ю.Н., Кисель, А.В. и Ильина, С.И. (2019). Перспективы применения ионитов в химической технологии. *Евразийский Союз Ученых*, № 12 (69), С. 4–6. doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.69.503.

Щербина, Л.А. (2022). Синтез ионогенных волокнообразующих сополимеров акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты в диметилформамиде. *Химические волокна*, 2022, № 1, С. 14–20.

Щербина, Л.А., Чикунская, В.М., Огородников, В.А. и Будкуте, И.А. (2022). Получение и свойства материалов на основе ионогенных сополимеров акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки*, № 2, С. 91–97.

Ahmad, O.S., Bedwell, T.S., Esen, C.A. and Garcia-Cruz, S.A. (2019). Piletsky Molecularly imprinted polymers in electrochemical and optical sensors. *Trends in Biotechn.*, V. 37, No. 3., pp. 294–309.

Bouchoum, Hayat, Benmoussa, Dounia, Jada, Amane, Tahiri, Mohamed and Cherkaoui, Omar (2019). Synthesis of amidoximated polyacrylonitrile fibers and its use as adsorbent for Cr (VI) ions removal from aqueous solutions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol. 38, No. 5, P. 1–10, DOI 10.1002/ep.

Jin, So Yeon, Kim, Min Hee, Jeong, Young Gyu, Yoon, Young Il and Park, Won Ho (2017). Effect of alkaline hydrolysis on cyclization reaction of PAN nanofibers. *Materials and Design*, Vol. 124, pp. 69–77. doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.066.

Rani, Soni, Praveen, Gazala and Kumar Gajendra (2018). Synthesis and characterization of copolymer film of acrylic acid with acrylonitrile and hydroxylamine treatment of the acrylic copolymer. *VSRD International Journal of Technical & Non-Technical Research*, Vol. IX, No. 2, pp. 83–88.

Rani, Soni, Praveen, Gazala and Kumar Gajendra (2018). Synthesis, Study and Characterization of Amidoximated Acrylic Copolymer. *Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 8. No. 3, pp. 54–60.

Sen, Kushal (2003). Thermal behavior of acrylonitrile carboxylic acid copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88, pp. 685–698. doi.org/10.1002/APP.11637.

Tham, H.M., Wang, K.Y., Hua, D., Japip, S. and Chung, T.S. (2017). From ultrafiltration to nanofiltration: hydrazine cross-linked polyacrylonitrile hollow fiber membranes for organic solvent nanofiltration. *J. Membr. Sci.*, Vol. 542, pp. 289–299. doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.024.

Toms, R.V., Balashov, M.S., Shaova, A.A., Gerval'd, A.Yu., Prokopov, N.I., Plutalova, A.V., Grebenkina, N.A. and Chernikova, E.V. (2020). Copolymers of Acrylonitrile and Acrylic Acid: Effect of Composition and Distribution of Chain Units on the Thermal Behavior of Copolymers. *Polymer Science. Series B*, Vol. 62, pp. 102–115. doi: 10.1134/S1560090420020086.

Wang, C. and Xin, Z. (2025). Effects of itaconic acid and ammonium itaconic acid on cyclization and thermal stabilization of narrow polydispersity polyacrylonitrile terpolymers synthesized in continuous flow. *J Polym Res.* 32, pp. 42–51. doi.org/10.1007/s10965-025-04267-6.

REFERENCES

- Gafurova, D.A., Shakhidova, D.N., Mukhamediyev, M.G. and Mukhamedov, G.I. (2014). The mechanism of the catalytic effect of hydroxylamine on the reaction of polyacrylonitrile with nitrogen-containing bases [Mekhanizm kataliticheskogo vliyaniya gidroksilamina na reaktsiyu poliakrilonitrila s azotsoderzhashchimi osnovaniyami]. *Zhurnal fizicheskoy khimii = Russian Journal of Physical Chemistry*, vol. 88, No. 11, pp. 1851–1854 [In Russian].
- Ergozhin, E.E., Chalov, T.K., Nikitina, A.I. and Khakimbatova, K.Kh. (2015). Study of the selectivity of heavy metal cation sorption by a new macroporous anion exchanger [Izucheniye selektivnosti sorptsii kationov tyazhelykh metallov novym makroporistym anionitom]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = News of higher educational institutions Chemistry and chemical technology*, vol. 58, No. 10, pp. 85–89 [In Russian].
- Nesteronok, P.V., Kosandrovich, E.G., Shachenkova, L.N. and Korshunova, T.A. (2014). Catalytic method for producing polyampholytes based on polyacrylonitrile fiber [Kataliticheskiy sposob polucheniya poliamfolitov na osnove poliakrilonitril'nogo volokna]. *Vesti Natsional'noy akademii nauk Respubliki Belarus'. Seriya khimicheskikh nauk = News of the National Academy of Sciences of the Republic of Belarus. Ser. of Chemical Sciences*, No. 4, pp. 80–87 [In Russian].
- Petukhova, Yu.N., Kisel, A.V. and Ilyina, S.I. (2019). Prospects for the Application of Ion Exchangers in Chemical Technology [Perspektivy primeneniya ionitov v khimicheskoy tekhnologii]. *Yevraziyskiy Soyuz Uchenykh = Eurasian Union of Scientists*, No. 12 (69), pp. 4–6. doi: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.5.69.503 [In Russian].
- Shcherbina, L.A. (2022). Synthesis of Ionogenic Fiber-Forming Copolymers of Acrylonitrile and 2-Acrylamide-2-methylpropanesulfonic Acid in Dimethylformamide. [Sintez ionogennykh voloknoobrazuyushchikh sopolimerov akrilonitrila i 2-akrilamid-2-metilpropansulfokisloty v dimetilformamide]. *Khimicheskkiye volokna = Chemical Fibers*, 2022, No. 1, pp. 14–20 [In Russian].
- Shcherbina, L.A., Chikunskaya, V.M., Ogorodnikov, V.A., and Budkute, I.A. (2022). Preparation and Properties of Materials Based on Ionogenic Copolymers of Acrylonitrile and 2-Acrylamide-2-methylpropanesulfonic Acid [Polucheniye i svoystva materialov na osnove ionogennykh sopolimerov akrilonitrila i 2-akrilamid-2-metilpropansulfokisloty]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizayna. Seriya 1. Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki = Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and Technical Sciences*, No. 2, pp. 91–97 [In Russian].
- Ahmad, O.S., Bedwell, T.S., Esen, C.A. and Garcia-Cruz, S.A. (2019). Piletsky Molecularly imprinted polymers in electrochemical and optical sensors. *Trends in Biotechn.*, V. 37, No. 3, pp. 294–309.
- Bouchoum, Hayat, Benmoussa, Dounia, Jada, Amane, Tahiri, Mohamed and Cherkaoui, Omar (2019). Synthesis of amidoximated polyacrylonitrile fibers and its use as adsorbent for Cr (VI) ions removal from aqueous solutions. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, Vol. 38, No.5, P. 1–10, DOI 10.1002/ep.
- Jin, So Yeon, Kim, Min Hee, Jeong, Young Gyu, Yoon, Young Il and Park, Won Ho (2017). Effect of alkaline hydrolysis on cyclization reaction of PAN nanofibers. *Materials and Design*, Vol. 124, pp. 69–77. doi.org/10.1016/j.matdes.2017.03.066.
- Rani, Soni, Praveen, Gazala and Kumar Gajendra (2018). Synthesis and characterization of copolymer film of acrylic acid with acrylonitrile and hydroxylamine treatment of the acrylic copolymer. *VSRD International Journal of Technical & Non-Technical Research*, Vol. IX, No. 2, pp. 83–88.
- Rani, Soni, Praveen, Gazala and Kumar Gajendra (2018). Synthesis, Study and Characterization of Amidoximated Acrylic Copolymer. *Journal of Engineering Research and Application*, Vol. 8. No. 3, pp. 54–60.
- Sen, Kushal (2003). Thermal behavior of acrylonitrile carboxylic acid copolymers. *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 88, pp. 685–698. doi.org/10.1002/APP11637.
- Tham, H.M., Wang, K.Y., Hua, D., Japip, S. and Chung, T.S. (2017). From ultrafiltration to nanofiltration: hydrazine cross-linked polyacrylonitrile hollow fiber membranes for organic solvent nanofiltration. *J. Membr. Sci.*, Vol. 542, pp. 289–299. doi.org/10.1016/j.memsci.2017.08.024.

Toms, R.V., Balashov, M.S., Shaova, A.A., Gerval'd, A.Yu., Prokopov, N.I., Plutalova, A.V., Grebenkina, N.A. and Chernikova, E.V. (2020). Copolymers of Acrylonitrile and Acrylic Acid: Effect of Composition and Distribution of Chain Units on the Thermal Behavior of Copolymers. *Polymer Science. Series B*, Vol. 62, pp. 102–115. doi: 10.1134/S1560090420020086.

Wang, C. and Xin, Z. (2025). Effects of itaconic acid and ammonium itaconic acid on cyclization and thermal stabilization of narrow polydispersity polyacrylonitrile terpolymers synthesized in continuous flow. *J Polym Res.* 32, pp. 42–51. doi.org/10.1007/s10965-025-04267-6

Информация об авторах

Information about the authors

Чикунская Вера Михайловна

Старший преподаватель, кафедра «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Огородников Валерий Анатольевич

Кандидат химических наук, доцент, кафедра «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Щербина Леонид Александрович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь. E-mail: htvms@tut.by

Будкоте Ирина Александровна

Кандидат технических наук, доцент, кафедра «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Vera M. Chykunskaya

Senior Lecturer of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Valery A. Ogorodnikov

Candidate of Sciences (in Chemistry), Associate Professor at the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Leonid A. Shcherbina

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus. E-mail: htvms@tut.by

Iryna A. Budkute

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Получение упаковочной бумаги на основе хлопкового пуха и макулатуры

**Н. Р. Кадирова¹, А. С. Рафиков¹,
Н. Н. Ясинская², Д. Б. Туйчиев¹,
К. А. Ленко²**

*¹Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
Республика Узбекистан
²Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Целью данной работы является определение возможностей получения экологически чистой упаковочной бумаги на основе хлопковых отходов, образующихся на текстильных предприятиях, а также макулатуры. Получена упаковочная бумага на основе хлопкового пуха, который образуется в значительных количествах на хлопкоочистительных, прядильных, ткацких и трикотажных предприятиях и который не нашел практического применения на сегодняшний день, а также макулатуры класса MS-6. Электрокинетический потенциал (-180–235 мВ), удельная электропроводность (0,03–0,21 $\mu\text{S}/\text{cm}$) волокнистой суспензии является фактором ее относительной стабильности. Получены образцы упаковочной бумаги из 100 % хлопкового пуха, 100% макулатуры и из их 9 различных смесей. Образцы бумаг, полученные из волокнистой смеси 30–70 % хлопкового пуха и 70–30 % макулатуры, имеют более высокие физико-механические свойства, чем образцы, полученные из чистого пуха или макулатуры. Введение 2 % акриловой эмульсии в состав волокнистой массы обеспечивает возрастание сопротивления к разрыву образцов бумаги на 25–45 %, длины разрыва – на 30–35 %, пробивной силы – на 10–55 %, количества двойных изгибов – на 60–250 % и внутренней прочности – на 10–35 %. Самый значительный прирост наблюдался в образцах, содержащих хлопковый пух и макулатуру при массовом соотношении 50:50. Производство упаковочной бумаги на основе волокнистых отходов может оказаться решением одного из экологических проблем текстильных предприятий и проектом с экономической эффективностью.

Ключевые слова: целлюлозно-бумажная промышленность, экологически чистые материалы, электрокинетический потенциал, коагуляция, волокнистая суспензия, переработка отходов.

Информация о статье: поступила 24 ноября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Production of packaging paper based on the cotton fluff and waste paper

**Nargis R. Kadirova¹, Adxam S. Rafikov¹,
Natalia N. Yasinskaya², Davlatxuja B. Tuychiev¹,
Ksenia A. Lenko²**

*¹Tashkent Institute of Textile and Light Industry,
Republic of Uzbekistan
²Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus*

Abstract. The objective of this work is to investigate the feasibility of producing environmentally friendly packaging paper from cotton waste generated by textile enterprises, as well as waste paper. Packaging paper has been produced using the cotton fluff, which is generated in significant quantities at ginning, spinning, weaving and knitting mills and which has not found practical application to date, as well as MS-6 waste paper. Electrokinetic potential (-180–235 mV), specific electrical conductivity (0.03–0.21 $\mu\text{S}/\text{cm}$) of the fibrous suspension are factors of its relative stability. Samples of packaging paper were obtained from 100 % cotton fluff, 100 % waste paper and from 9 different mixtures of them. Paper samples obtained from a fibrous mixture of 30–70 % cotton fluff and 70–30 % waste paper have higher physical and mechanical properties than samples obtained from pure fluff or waste paper. The introduction of 2 % acrylic emulsion into the composition of the fibrous mass provides an increase in tensile strength of paper samples by 25–45 %, rupture length – by 30–35 %, penetrating force – by 10–55 %, the number of double bends – by 60–250 % and internal

strength – by 10–35 %. The most significant increase was observed in samples containing cotton fluff and waste paper at a 50:50 weight ratio. Producing packaging paper from fiber waste could prove to be a cost-effective solution to one of the environmental problems facing textile companies.

Keywords: pulp and paper industry, environmentally friendly materials, electrokinetic potential, coagulation, fibrous suspension, waste recycling.

Article info: received November 24, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Анализ рынка бумаги и картона показывает, что крупнейшим видом продукции, объём производства которого в последние годы непрерывно растёт во всём мире, остаётся упаковочная бумага различного назначения. Его развитие обусловлено постоянным ростом спроса на экологически чистые современные упаковочные материалы. При мировом объёме производства бумаги в 177 миллионов тонн в год, к 2030 году наибольший объём будет приходиться на санитарно-гигиеническую, оберточную и упаковочную бумагу. Ожидается, что ежегодный темп роста потребления упаковочных материалов и бумаги составит около 2,9 % [Stig S., 2020].

Бумага, в том числе упаковочная, представляет собой композитный материал, состоящий из волокнистых, полимерных, минеральных, связующих и других компонентов. Основным волокнистым сырьем для производства бумажной продукции является древесная или хлопковая целлюлоза. Крайний дефицит первичного целлюлозного сырья подталкивает производителей к использованию вторичного сырья, такого как макулатура, хлопковый линт и пух, а также текстильные отходы, для производства бумажной продукции. Переработка отходов не происходит в ожидаемых объемах по ряду причин, поэтому воздействие на окружающую среду и экономические потери от этих отходов со временем растут [Wagaw T. and Babu K.M., 2023].

В настоящее время упаковочная бумага и картон производятся практически полностью из макулатуры [Ervasti I., Miranda R. and Kauranen I., 2016; Håkon A.L. et al., 2024]. Макулатура – это в основном отходы типографской бумаги, газет, журналов, картонной тары, которые могут быть возвращены в новый потребительский цикл путем переработки. Систематический обзор литературных источников показывает, что количество статей и ссылок увеличивается в связи с растущим интересом

к этой области [Altaf H., 2006]. Теоретически макулатуру можно перерабатывать 6–7 раз, но с учетом снижения качества бумажной продукции в результате каждой переработки на практике ее перерабатывают 2–4 раза [Min D. et al., 2023]. Макулатура, являющаяся основным компонентом промышленных и бытовых отходов, производится 400 миллионов тонн в год, но из-за низкого качества ее волокон и смешанных с ней отходов перерабатывается только 50–65 % ее. Основной причиной низкого качества переработанной бумаги является уменьшение длины волокон [Slautin D.V., Teploukhova M.V. and Andrakovsky R.E., 2018]. Для приготовления вторичной целлюлозы необходимо измельчить волокна, добавить наполнители и проклеивающие вещества, однако этот метод всё же снижает стабильность продукта [Daniel M. et al., 2023].

Для повышения прочности при переработке целлюлозной массы вводят больше полимеров и обеспечивают их удержание в ней. Однако было обнаружено, что переработка полимеров по этому методу отрицательно влияет на пухлость бумаги, т. е. плотность бумаги становится нежелательно высокой [Goiricelaya I. and Igaza J.J., 1996]. Повышение прочности бумаги и картона без ущерба для пухлости является сложной задачей. Для повышения прочности бумаги с сохранением биоразлагаемости предлагается наносить на ее поверхность полимерную пленку, изготовленную из натуральных продуктов [Dulal H. et al., 2022; Ilpo E., Ruben M. and Ilka K., 2016].

Таким образом, в настоящее время наблюдается дефицит экологически безопасной волокнистой целлюлозы для производства бумаги и картона, и возникает необходимость поиска новых источников сырья. По нашему мнению, таким источником может быть хлопковый пух, накапливающийся в процессе производства на текстильных фабриках.

На предприятиях первичной обработки хлопка, прядельных, ткацких и трикотажных фабрик от машин и механизмов выделяется большое количество волокнистого пуха (Tutus A., Comlekcioglu N. and Karatas B., 2017). Этот пух, во-первых, приводит к ухудшению экологической обстановки на предприятии, а во-вторых, непригоден для производства продукции, соответствующей профилю предприятия (Yadav S., Kaur M. and Kaur M., 2022; Ashori A. and Bahreini Z., 2009). Хлопковые отходы, которые в настоящее время не используются, могут быть ценным источником сырья.

Целью данной работы является определение возможностей получения экологически чистой упаковочной бумаги на основе хлопковых отходов, образующихся на текстильных предприятиях, а также макулатуры.

Объект и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали хлопковый пух (ХП), образующийся в процессе кардочесания на оборудовании «Тамплер» и «Шартолон» перчаточного цеха, который был предоставлен совместным предприятием «ЕвроАзия Альянс Текстиль». Только в этом цехе ежемесячно образуется около 1 тонны волокнистых отходов, из которых 2–5 % приходится на синтетические волокна, остальное – на целлюлозу. Перед изготовлением бумаги ХП измельчали до степени 50–55 градусов Шоппера-Риглера (°ШР) на лабораторной установке «YANTE 23L» (Китай).

Отходы картона, относящиеся к классу макулатуры МС-6, также измельчали до степени 50–55 °ШР на установке «YANTE 23L».

Акриловая эмульсия – продукт эмульсионной полимеризации метилакрилата, прозрачная жидкость, смешиваемая с водой в любых соотношениях, производится на АО «Навоизот».

В качестве коагулянта использовали химически чистый сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3$.

Образцы бумаги на основе ХП и макулатуры отливали на лабораторной установке «CYEEO-2.2» (Китай). В качестве связующего добавляли акриловую эмульсию, обладающую высокими адгезионными свойствами к целлюлозным волокнам, в количестве 2 % от общей массы волокна. Образцы бумаги формовали путем обезвоживания 2 %-ной суспензии волокнистой массы на сетке бумагоотливочной установки с использованием вакуума, ручного каландрирования, сушки при температуре $(60 \pm 1,0)$ °С и последующего каландрирования с помощью прижимных валов.

Степень обрывности волокнистой массы определяли на лабораторном комплексе «Schopper-Riegler» (Китай).

Электрокинетический потенциал волокнистой суспензии определяли при постоянной температуре в установке «SZP 06 BTG Mtek GmbH» методом потенциала течения. Концентрация суспензии для анализа принята 3 %. Если это значение превышает указанное, анализируемую суспензию разбавляют фильтратом.

Отбор проб, приготовление средней пробы и испытания для определения физико-механических свойств проводили в соответствии с требованиями ГОСТ 13525.1-79 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения разрывной нагрузки и относительного удлинения при разрыве». Образцы для испытаний длиной 155 ± 5 мм и шириной $15 \pm 0,1$ мм изготавливали методом однонаправленной резки из полученной бумаги.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Формирование бумажного листа связано с коллоидно-химическими свойствами волокнистой суспензии. Одним из параметров, определяющих эти свойства, является электрокинетический потенциал дисперсных частиц. Электрокинетический, или ζ (дзета)-потенциал (ЭП), – это потенциал, возникающий на границе адсорбционного и диффузионного слоев в двойном электрическом слое (ДЭС) дисперсных систем. ЭП, отражающий свойства ДЭС, определяется в результате экспериментального изучения электрокинетических явлений (Serrano-Lotina A. et al., 2023).

При большом положительном или отрицательном заряде частиц между ними действуют сильные электростатические силы отталкивания. Это препятствует сближению частиц и образованию агломератов. При близком расположении частиц на них действуют силы Ван-дер-Ваальса, основанные на диполь-дипольных взаимодействиях и приводящие к агрегации частиц. При малом значении ЭП велика вероятность коалесценции и коагуляции частиц. Измерение ЭП не является прямым показателем устойчивости суспензии, но его значение позволяет прогнозировать её устойчивость или неустойчивость. Поскольку ЭП измерить проще, чем устойчивость, именно по ней определяют устойчивость дисперсной системы. Значение ЭП, равное ± 30 мВ, можно условно принять за предельное значение для более и менее заряженных поверхностей. Если ЭП находится

в пределах от 0 до ± 30 мВ, систему можно считать неустойчивой, а если оно больше ± 30 мВ, то её можно считать устойчивой.

Электрокинетические свойства волокнистой суспензии зависят от её состава и концентрации. Было обнаружено, что акриловая эмульсия (АЭ) и коагулянт оказывают различное влияние на свойства суспензии (таблица 1).

Как видно из таблицы 1, ЭП суспензии смеси ХП и макулатуры имеет высокое отрицательное значение. При добавлении акриловой эмульсии значение ЭП еще больше увеличивается, удельная электропроводность

снижается, т. е. устойчивость суспензии повышается. Согласно теории коагуляции под действием электролита отрицательно заряженные коллоидные частицы коагулируют положительно заряженными ионами. Чем больше заряд катиона, в данном случае катиона алюминия, тем меньше порог коагуляции. Поэтому добавление 1 % электролита сульфата алюминия вызывает резкое снижение потенциала ЭП, а добавление 2 % приводит к его полному исчезновению. При этом полное исчезновение потенциала частицы происходит на границе адсорбционного и диффузионного слоев. Поскольку избыточные ионы электролита остаются в диффузионном

Таблица 1 – Электрокинетические свойства волокнистой суспензии

Table 1 – Electrokinetic properties of fiber suspension

Состав суспензии	Электрокинетический потенциал, mV	Удельная электропроводность, $\mu\text{S/cm}$
ХП + макулатура	-182,9	0,207
ХП + макулатура + АЭ (2 %)	-233,5	0,032
ХП + макулатура + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (1 %)	-66,7	0,203
ХП + макулатура + $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (2 %)	0	0,331

Таблица 2 – Параметры приготовления экспериментальных образцов бумаги

Table 2 – Parameters for preparing experimental paper samples

№ образца	Состав волокнистой массы, %		Акриловая эмульсия	Поверхностная плотность бумаги, г/м^2	Объемная плотность бумаги, г/см^3
	ХП	макулатура			
1	100	0	-	107	4,28
2	100	0	+	113	4,52
3	90	10	+	108	4,32
4	80	20	+	107	4,28
5	70	30	+	114	4,56
6	60	40	+	117	4,68
7	50	50	-	113	4,52
8	50	50	+	111	4,44
9	40	60	+	114	4,56
10	30	70	+	116	4,64
11	20	80	+	113	4,52
12	10	90	+	115	4,60
13	0	100	-	117	4,68
14	0	100	+	114	4,56

слое, удельная электропроводность суспензии увеличивается. Следовательно, ее устойчивость можно регулировать добавлением в суспензию полимера или электролита. Дальнейшие исследования были посвящены определению физико-механических свойств экспериментальных образцов бумаги, полученных с различным массовым соотношением волокнистых компонентов (таблица 2). Согласно ГОСТ 8273-75 Бумага оберточная. Технические условия, поверхностная плотность упаковочной бумаги марки Е (из макулатуры, небеленой целлюлозы и волокнистых отходов целлюлозно-бумажного производства) должна составлять 40–120 г/м².

Из данных таблицы 1 видно, что физические свойства бумаги слабо зависят от её состава, то есть состава волокнистой массы и наличия акриловой эмульсии. Средняя масса полученных экспериментальных образцов бумаги составляет 112±5 г/м², разница менее 8 %.

Объемная плотность бумаги составляет 4,48±0,20 г/см³, разница менее 5 %. Это свидетельствует о практически одинаковой степени помола ХП и макулатуры. Возможно, влияние состава бумаги на механические свойства образцов будет более значительным.

В первую очередь было изучено влияние введения акриловой эмульсии на основные механические свойства образцов, полученных при массовом соотношении 100 % ХП, 100 % макулатуры и 50:50 ХП. Результаты представлены на рисунке 1. Согласно ГОСТ 8273-75, разрывная длина упаковочной бумаги марки Е поверхностной плотностью 90–120 г/м² должна быть не менее 2200 м.

Как видно из рисунка 1, все определяемые показатели в образцах бумаги из смешанных волокон выше, чем в образцах из 100 % ХП и 100 % макулатуры. Введение акриловой эмульсии приводит к улучшению механических свойств в среднем на 20–40 %. В частности, наблю-

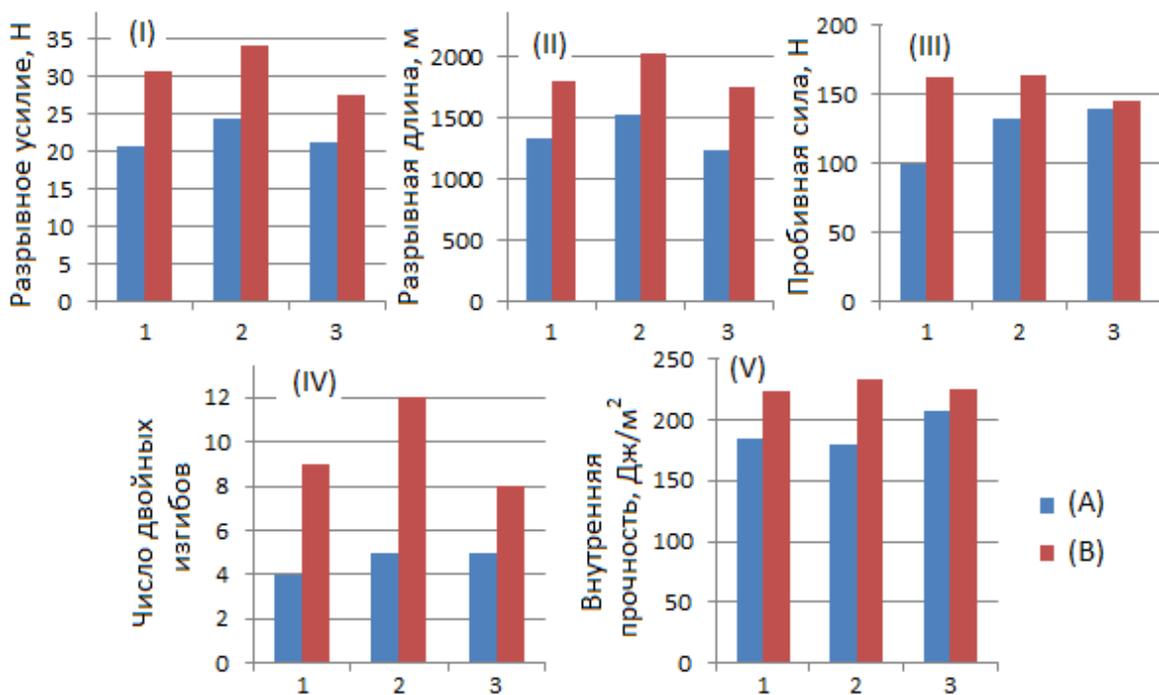


Рисунок 1 – Разрывное усилие (I), разрывная длина (II), пробивная сила (III), количество двойных изгибов (IV) и внутренняя прочность (V) экспериментальных образцов бумаги без (А) и с (Б) акриловой эмульсией:

1 – 100 % ХП, 2 – 50% ХП + 50 % макулатуры, 3 – 100 % макулатуры

Figure 1 – Breaking strength (I), breaking length (II), penetration force (III), number of double folds (IV) and internal strength (V) of experimental paper samples without (A) and with (B) acrylic emulsion:

1 – 100 % CF, 2 – 50 % CF + 50 % waste paper, 3 – 100 % waste paper

далось резкое увеличение числа двойных изгибов, для образца бумаги из смешанных волокон этот показатель увеличивается почти в 2,5 раза. Эти результаты можно объяснить следующим образом. Поскольку степень обрыва волокон одинакова, наблюдается положительный индукционный эффект, при этом свойства каждого из них сохраняются в их смеси. В результате взаимодействия различных функциональных групп в их составе механическая прочность смеси несколько увеличивается. Полиметилакрилат, входящий в состав акриловой эмульсии, наряду с функцией межволоконного адгезива, повышает эластичность волокнистой массы.

Это, в свою очередь, повышает механическую прочность получаемой бумаги, прежде всего, её устойчивость к изгибу. Поскольку внутренняя прочность бумаги зависит в большей степени от сцепления волокон, чем

от её волокнистого состава, этот показатель для разных образцов показал близкие значения. Дальнейшие исследования были посвящены изучению механических свойств образцов бумаги различного состава, склеенных акриловой эмульсией (рисунок 2).

Данные на рисунке 2 частично подтверждают и дополняют результаты предыдущего эксперимента. Механические свойства образцов бумаги, полученных из смеси волокон, выше, чем у образцов, полученных из чистых волокон, но не во всем диапазоне. С увеличением массовой доли ХП в составе бумаги механические свойства увеличиваются, достигают максимума, а затем снижаются. Максимум кривых наблюдался для образца, содержащего 70 % ХП и 30 % макулатуры. Оказалось, что у образцов с содержанием ХП более 80 % все механические свойства хуже, чем у образцов, полученных из

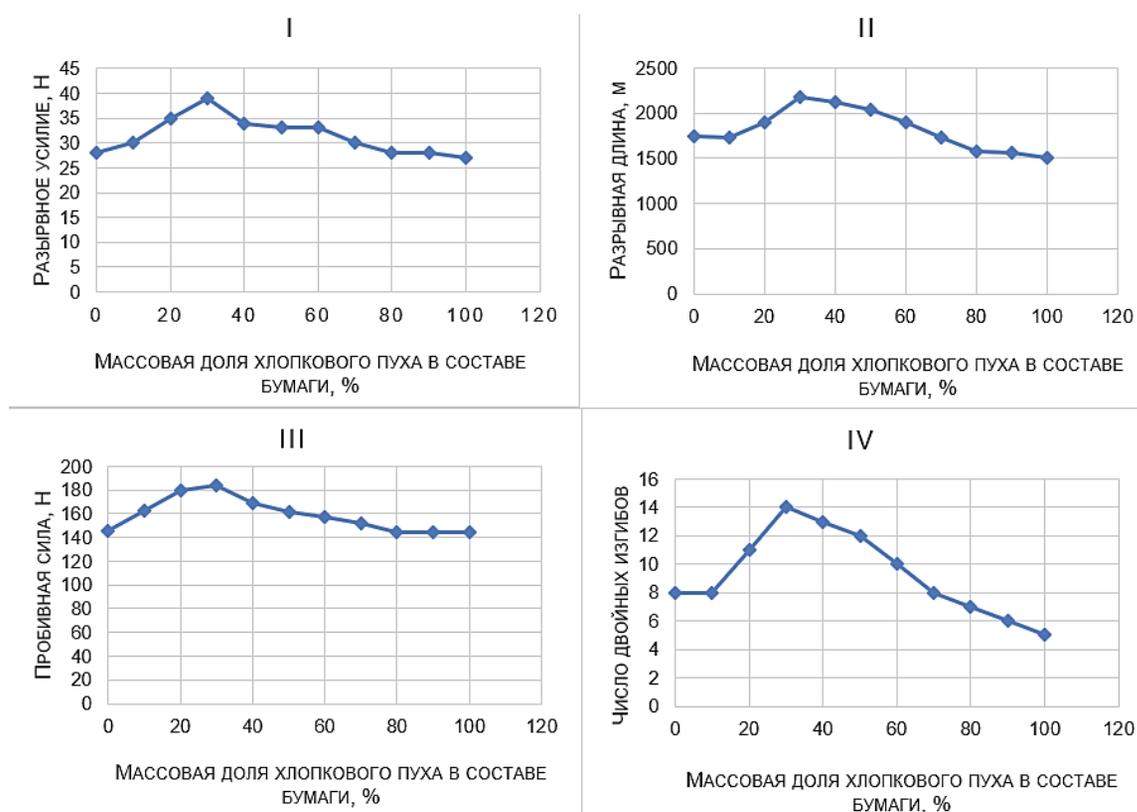


Рисунок 2 – Зависимость механических свойств (разрывное усилие (I), разрывная длина (II), пробивная сила (III), число двойных изгибов (IV)) экспериментальных образцов бумаги с 2 % акриловой эмульсии от волокнистого состава

Figure 2 – Dependence of mechanical properties (breaking force (I), breaking length (II), penetration force (III), number of double bends (IV)) of experimental paper samples with 2 % acrylic emulsion on the fiber composition

чистого хлопка или чистого ХП.

Энергия новых межмолекулярных связей не может компенсировать разрушение молекулярной структуры целлюлозы в результате добавления более 80 % ХП в состав макулатуры, поэтому механические свойства могут ухудшаться. С увеличением количества ХП возрастает также роль новых межмолекулярных связей, что приводит к повышению механических свойств бумаги, однако при вложении ХП более 30 % по данным свойствам происходит спад. Можно заключить, что при массовом соотношении ХП : макулатура = 30 : 70 механические свойства бумаги достигают максимальных значений. При снижении количества ХП ниже 30 % структурно-механические факторы преобладают над химическими и наблюдается снижение механических свойств.

Выводы

В результате проведенных исследований экспериментально определена возможность и подтверждена целесообразность получения экологически чистой упаковочной бумаги на основе композиции вторичных волокон – хлопкового пуха и макулатуры. Электроки-

нетические свойства суспензии смеси волокон пуха и макулатуры со степенью измельчения 50–55 °ШР свидетельствуют о ее стабильности. Одинаковая степень измельчения обоих волокон обеспечивает одинаковость поверхностной массы и плотности образцов бумаги независимо от количественного состава смеси. Установлено, что механические свойства образцов, полученных из смеси волокон, содержащей 50±20 % хлопкового пуха, остальное – макулатура, в среднем на 20–40 % выше, чем у образцов, полученных из чистых волокон. Несмотря на общее улучшение механических показателей, достигнутая разрывная длина образцов требует дальнейшего повышения для соответствия стандарту, что будет являться основой для дальнейших исследований по оптимизации состава смеси и введению модифицирующих добавок. Производство упаковочной бумаги из волокон текстильной промышленности и бытовых отходов приводит к улучшению экологического состояния предприятия и окружающей среды, а также повышению экономической эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ashori, A. and Bahreini, Z. (2009). Evaluation of using wastepaper and cotton stalk in the production of medium density fiberboard (MDF). *Bioresource Technology*, no. 100, pp. 4665–4669.
- Basta, A.H. and El-saied, H. (2006). Novel Beater Additives for Paper. *International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials*, vol 2, no. 50, pp. 185–205.
- Bajpai, P. (2015). *Pulp and Paper Industry*. Amsterdam: Elsevier, Netherlands.
- Dulal, H., Shebbir, H., Islam, A., Naji, A. and Najeeb, M. (2022). Utilisation of natural wastes: Water-resistant semi-transparent paper for food packaging. *Journal of Cleaner Production*, no. 364, p. 132665.
- Ervasti, I., Miranda, R. and Kauranen, I. (2016). Paper recycling framework, the "Wheel of Fiber". *Journal of Environmental Management*, no. 174, pp. 35–44.
- Goiricelaya, I. and Igarza, J.J. (1996). An Image Processing Based Money Paper Quality Control System. *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 1, no. 29, pp. 6656–6661.
- Hansen, H.A.L., Pettersen, H.P., Carvalho, G., Asimakopoulos, A.G., Knutsen, H., Basta, A.H. and El-saied, H. (2024). Recycling of paper, cardboard and its PFAS in Norway. *Journal of Hazardous Materials Letters*, no. 5, p. 100096.
- Min, D., Mingxing, S., Bin, C., Hongyi, X., Dingfan, Z., Zhixiu, H., Lan, Y. and Wua, Y. (2023). Advancing sustainability in China's pulp and paper industry requires coordinated raw material supply and waste paper management. *Resources, Conservation and Recycling*, no. 198, p. 107162.
- Mohan, D., Argueta, S., Crandon, K., Hidalgo, M.O. and Carrasquillo, H.J. (2023). Waste Paper as a Valuable Resource: An Overview of Recent Trends in the Polymeric Composites Field. *Polymers*, vol. 2, no. 15, p. 426.
- Serrano-Lotina, A., Portela, R., Baeza, P. and Alcolea-Rodriguez, V. (2023). Zeta potential as a tool for functional materials development. *Catalysis Today*, no. 423, p. 113862.

- Slautin, D.V., Teploukhova, M.V. and Andrakovsky, R.E. (2018). Increasing the strength of paper made from recovery pulp. Newsletter of Perm National Research Polytechnic University. *Chemical Technology and Biotechnology*, no. 1, pp. 113–135.
- Stig, S. (2020). Drying of paper: A review 2000–2018. *Drying Technology*, vol. 7, no. 38, pp. 825–845.
- Tutus, A., Comlekcioglu, N. and Karatas, B. (2017). Utilizing cotton linter as a potential raw material for the paper industry. *BioResources*, vol. 1, no. 12, pp. 399–411.
- Yadav, S., Kaur, M. and Kaur, M. (2022). Valorization of cotton waste: A review on the emerging applications in composites, energy and environment. *Journal of Cleaner Production*, no. 370, p. 133516.
- Wagaw, T. and Kumar Babu, M. (2023). Textile Waste Recycling: A Need for a Stringent Paradigm Shift. *AATCC Journal of Research*, vol.6, no.10, pp. 376–385.

Информация об авторах

Information about the authors

Кадилова Наргис Рустам кизи

Доктор химических наук, профессор, доцент кафедры «Точные и естественные науки», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: kadirova-nargis@mail.ru

Рафиков Адхам Салимовича

Доктор химических наук, профессор, профессор кафедры «Точные и естественные науки», Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: asrafikov@mail.ru

Ясинская Наталья Николаевна

Доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Экология и химические технологии» Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yasinskayNN@rambler.ru

Туйчиев Давлатхужа Ботирович

Студент, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Республика Узбекистан.

E-mail: toychiyevdavlat@gmail.com

Ленько Ксения Александровна

Преподаватель-стажер кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: kotya240497@mail.ru

Nargis R. Kadirova

Doctor of Science (in Chemical), Professor, Associate Professor of the Department "Natural and Exact Sciences", Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: kadirova-nargis@mail.ru

Adxam S. Rafikov

Doctor of Science (in Chemical), Professor, Professor of the Department "Natural and Exact Sciences", Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: asrafikov@mail.ru

Natalia N. Yasinskaya

Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yasinskayNN@rambler.ru

Davlatxuja B. Tuychiev

Student, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Republic of Uzbekistan.

E-mail: toychiyevdavlat@gmail.com

Ksenia A. Lenko

Teaching Assistant of the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: kotya240497@mail.ru

Модификация полиакрилонитрильных волокон катамином АБ

Н. В. Пчелова, Л. А. Щербина,
И. А. Будкоте

Белорусский государственный университет пищевых
и химических технологий, Республика Беларусь

Аннотация. Целью работы является модификация полиакрилонитрильных (ПАН) волокон на основе сополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфокислоты (АМПС) путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильные растворы поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Получены образцы модельных волокон по диметилформаимидному методу.

Установлено, что введение катамина АБ в структуру волокна через прядильный раствор не оказывает принципиального влияния на форму поперечного среза и морфологические особенности сформованных ПАН волокон, а также их прочность. Модифицированные ПАН волокна проявляют существенно большую усадку и незначительно большее удлинение при разрыве, по сравнению с контрольным образцом.

В результате модификации ПАН волокон катамином АБ происходит инверсия способности окрашиваться катионными красителями к способности окрашиваться анионными красителями. Это проявляется в снижении коэффициента выбираемости (КВ) катионного красителя и увеличении КВ анионных красителей модифицированными волокнами на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС].

Установлено, что модифицированные катамином АБ (на стадии подготовки прядильного раствора) ПАН волокна и материалы на их основе, в отличие от контрольных образцов, проявляют 100 % антимикробную активность в отношении штаммов *St. aureus* и *E. Coli* при концентрации препарата в прядильном растворе 0,5, 1,0 и 2,5 % (масс.).

Таким образом, введение катамина АБ в структуру ПАН волокон позволяет не только создавать изделия с антимикробной активностью, но и проводить их крашение анионными красителями в смеси с шерстяными волокнами.

Ключевые слова: сополимер, акрилонитрил, метилакрилат, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, модификация, волокно, катамин АБ, свойства, крашение.

Информация о статье: поступила 19 ноября 2025 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2025)», которая состоялась 18–19 ноября 2025 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Modification of polyacrylonitrile fibers by catamine AB

Natallia V. Pchalova, Leonid A. Shcherbina,
Iryna A. Budkute

Belarusian State University of Food and Chemical Technologies,
Republic of Belarus

Abstract. The aim of this study is to modify polyacrylonitrile (PAN) fibers based on a copolymer of acrylonitrile (AN), methyl acrylate (MA), and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) by introducing the bactericidal agent catamine AB into poly[AN-co-MA-co-AMPS] spinning solutions. Model fiber samples were produced using the dimethylformamide method. It was found that introducing catamine AB into the fiber structure via the spinning solution has no significant effect on the cross-sectional shape, morphological properties, or strength of the resulting PAN fibers. The modified PAN fibers exhibit significantly greater shrinkage and slightly higher elongation at break compared to the control sample.

Modification of PAN fibers with catamine AB results in an inversion of their ability to be dyed with cationic dyes to their ability to be dyed with anionic dyes. This is manifested by a decrease in the selectivity coefficient (SC) of the cationic dye and an increase in the SC of anionic dyes modified with fibers based on poly[AN-co-MA-co-AMPS].

It was found that PAN fibers and materials based on them modified with catamine AB (at the spinning solution preparation stage), unlike control samples, exhibit 100% antimicrobial activity against strains of *St. aureus* and *E. coli* at spinning solution

concentrations of 0.5, 1.0, and 2.5 % (wt.).

Thus, the introduction of catamine AB into the structure of PAN fibers allows not only the creation of products with antimicrobial activity but also their dyeing with anionic dyes mixed with wool fibers.

Keywords: copolymer, acrylonitrile, methyl acrylate, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, modification, fiber, catamine AB, properties, dyeing.

Article info: received November 19, 2025.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2025), held on November 18–19, 2025 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Синтетические волокна по структуре принципиально отличаются от натуральных и искусственных волокон и, будучи для микроорганизмов инородным субстратом, повреждаются ими труднее. После появления примерно в 1950-е гг. синтетических тканей предполагали, что они не подвергаются воздействию микроорганизмов. Однако со временем было установлено, что, во-первых, микроорганизмы, хотя и медленнее, но все же способны заселять синтетические ткани и утилизировать их углерод в процессе развития (т. е. вызывать биоповреждения), и, во-вторых, среди синтетических тканей есть и более, и менее стойкие к воздействию микроорганизмов (Khajavi, 2007).

Текстильные изделия из полиакрилонитрильных (ПАН) волокон обычно эксплуатируются в условиях повышенной влажности и температуры, стимулирующих развитие микроорганизмов. Кроме того, одежда, изготовленная из тканей с применением ПАН волокна, способствует накоплению пота. Бактерии, развиваясь, создают неприятный запах, вызывают раздражение кожи, а развитие патогенных форм микроорганизмов может привести к заболеваниям (Zhang, 2021; Yang, 2020; Zhu, 2022; Yang, 2015).

Придание текстильным материалам антимикробных свойств необходимо для защиты от действий микроорганизмов объектов, соприкасающихся с текстильными материалами. Поэтому важной проблемой, от успешного решения которой во многом зависит расширение областей использования ПАН волокон, является придание им специфических свойств, в том числе бактерицидных, инсектофунгицидных и других эффектов биологической активности (Аккая и Ozseker, 2019; Aksoy, Ates and Cerkez, 2017; Naktaniyan and Bradley, 2022; Okay, 2022; Selvam and Nallathambi, 2015; Yao, 2019; Chang, 2020). Успешное решение комплекса технологических и са-

нитарно-гигиенических задач, связанных с созданием производств таких волокнистых материалов, позволило бы расширить ассортимент изделий из ПАН волокон.

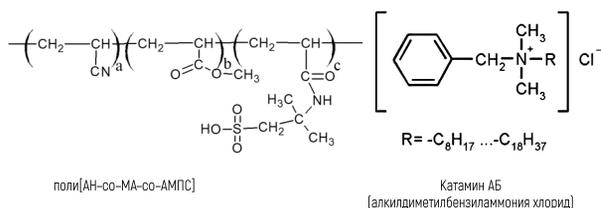
На кафедре «Химия и технология высокомолекулярных соединений» Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий проводятся исследования, результаты которых показывают, что достаточно эффективным препаратом, подавляющим рост и грибов, и бактерий, является препарат катамин АБ. Выбор данного препарата обусловлен его экологичностью, отсутствием мутагенного, канцерогенного и эмбриотоксического эффектов (Седов, 2000). Целью данной работы явилась модификация полиакрилонитрильных (ПАН) волокон на основе сополимера акрилонитрила, метилакрилата и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильные растворы. в определенном мольном соотношении к сульфогруппам, содержащимся в звеньях кислотного сомомера.

Для ПАН волокон, наряду с большим количеством достоинств, также характерен недостаток: они плохо окрашиваются (или практически не окрашиваются) анионными красителями. Эта проблема значительно затрудняет крашение этого вида синтетических волокон в смесках с шерстью, которая неплохо окрашивается анионными красителями. Введение бактерицидного препарата катамин АБ, содержащего катион алкилдиметилбензиламмоний, в волокно должно способствовать увеличению сродства анионных красителей к волокну.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования явились сформованные по диметилформамидному способу в лабораторных условиях модельные волокна на основе промышленного волокнообразующего терсополимера (ВТП) акрилонитрила (АН), метилакриата (МА), 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты (АМПС) из прядильных растворов с

различным содержанием бактерицидного препарата катамин АБ. Первичная структура сополимера и химическая формула бактерицидного препарата катамин АБ представлены ниже:



Предмет исследования – изучение свойств ПАН волокон, модифицированных путем введения бактерицидного препарата катамин АБ в прядильный раствор в определенном мольном соотношении к сульфогруппам, содержащимся в звеньях АМПС ВТП.

Для получения модельных ПАН волокон готовили 20 % прядильные растворы поли[АН-со-МА-со-АМПС] в диметилформамиде (ДМФ) как без модификатора, так и с модификатором в количестве, соответствующем определенному мольному соотношению сульфогрупп звеньев АМПС ВТП и катамина АБ. Для проведения экспериментов по крашению модифицированных волокон в качестве образца сравнения сформовано модельное волокно на основе поли[АН-со-МА], синтезированного с использованием стеновой лабораторной установки в соответствии с методикой, описанной ранее (Щербина, 2020).

Формование модельных образцов ПАН волокон из гомогенизированных и обезвоздушенных прядильных растворов осуществляли «мокрым» методом с использованием лабораторной стеновой установки (Пчелова

и др., 2020) в соответствии с основными технологическими режимами, представленными в таблице 1.

Полученные ПАН гель-волокна промывали на перфорированной бобине периодическим способом при комнатной температуре и гидромодуле ванны не менее 100. Количество промывок составляло не менее 5. Каждая промывка длилась не менее 1 ч. Промывку вели до остаточного содержания ДМФ в волокне не более 0,1 % (масс.). Остаточное содержание растворителя в гель-волокне контролировали путем экстракции из него ДМФ в кипящей воде (Чеголи и др., 1982) и последующего его определения по методу Кьельдаля. Для поправки на содержание катамина АБ в волокне определяли его содержание в промывных водах в соответствии с методикой (Верховцова, 2007).

Изучение структурно-морфологических особенностей поперечных срезов волокон после сушки осуществляли в поляризованном свете с использованием микроскопа Nikon Eclipse E200. Исследование продольного вида гель-волокон, отобранных на выходе из осадительной ванны, проводили в дистиллированной воде с использованием того же микроскопа.

Физико-механические свойства волокон определяли в соответствии с ГОСТ 10213.1-2002, ГОСТ 10213.2-2002, ГОСТ 13481-2001 в аккредитованной лаборатории отдела технического контроля производства синтетического волокна ОАО «Могилевхимволокно» на приборе «Vibroscop/Vibrodyn 400» ф. «Lenzing Instruments».

Для имитации процесса крашения волокон поверхностным способом полученные гель-волокна хранили в дистиллированной воде. Крашение гель-волокон проводили красителем метиленовым голубым (МГ) в соот-

Таблица 1 – Условия формования модельных ПАН волокон

Table 1 – Conditions for forming model PAN fibers

Растворитель	ДМФ
Содержание ВТП в прядильном растворе, %	20±1
Скорость формования, м/мин	1
Концентрация растворителя в осадительной ванне, %	55±1
Температура осадительной ванны, °С	15±1
Температура пластификационной ванны, °С	95,5±1,0
Количество отверстий в фильере, шт.	120
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5

ветствии с методикой, приведенной в [Щербина, 2002]. Крашение волокон в сухом состоянии осуществляли в соответствии с [Лобанова, Золотарева и Молоков, 1988]. Определение коэффициента выбираемости красителя осуществляли по его остаточной концентрации в красильном растворе, оцениваемой спектрофотометрическим методом. Крашение сухого волокна проводили согласно ИТС 39-2017 «Производство текстильных изделий (промывка, отбеливание, мерсеризация, крашение текстильных волокон, отбеливание, крашение текстильной продукции)».

После окрашивания волокна сушили в свободном состоянии при температуре 100–105 °С до постоянной массы и далее определяли их цветовые характеристики в координатах RGB по методике [Пчелова и др., 2020] как среднее не менее, чем 10 измерений.

Микробиологическое исследование образцов ПАН волокон проводили на базе УЗ «Могилевский областной центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» по методу «агаровых пластин» в соответствии с «Методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты» № 28-6/32 от 18.11.1983. Для этого 2 % раствор мясopентонного агара с температурой 45 °С смешивают с взвесью тест-микрорганов (золотистого стафилококка (*Staphylococcus aureus*) или кишечной палочки (*Escherichia coli*)) разливают в чашки Петри. На поверхность застывшего агара накладывают тест-образец. Посевы выращивают при 37 °С. Результаты оценивают через 24 часа по величине зон задержки роста микроорганизмов.

Результаты исследований

Одной из структурных характеристик волокна является его пористость. Образование пор обусловлено природой процесса мокрого формования, при котором объем растворителя в исходном прядильном растворе составляет 72–84 %. Исследование влияния модификатора на продольный вид сформованных гель-волокон (таблица 2) показало, что волокна, получаемые из прядильных растворов, содержащих разное количество модификатора, представляют собой однородную мелкопористую структуру с размером пор, соответствующих длине волны видимого света, что проявляется как затемнение продольных срезов, наблюдаемых в оптический микроскоп. Тенденция к повышению количества пор по мере увеличения содержания модификатора в прядильном растворе может быть связана с влиянием

модификатора на особенности процессов структурообразования в системе «полимер – растворитель – осадитель – модификатор»; с ограниченной совместимостью компонентов в этой системе, а также с тем, что «избыточный» модификатор играет роль «структурного наполнителя», препятствующего формированию однородной надмолекулярной структуры волокон.

На структуру и форму поперечного сечения волокон большое влияние оказывают не только условия осаждения, но также свойства прядильных растворов. Как правило, для волокон, формируемых по диметилформамидному способу в производственных условиях, характерна бобовидная форма поперечного среза. Та или иная форма поперечного сечения объясняется процессами взаимодиффузии осадителя в волокно и растворителя из волокна. Преобладание скорости диффузии растворителя из волокна над скоростью диффузии осадителя в волокно приводит к образованию волокна с неправильной формой поперечного сечения. Исследования показали (таблица 2), что введение модификатора в прядильный раствор практически не оказывает влияния на форму поперечного среза волокон, высушенных на воздухе при температуре (20±5) °С. В результате сушки в условиях контролируемой усадки [21 %] при температуре 130–140 °С форма поперечного сечения волокон практически не изменяется, при этом структура становится более однородной и плотной, также наблюдается схлопывание мелких и части более крупных пор.

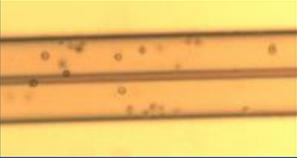
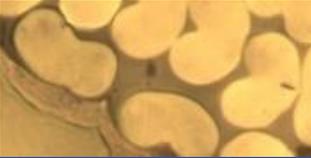
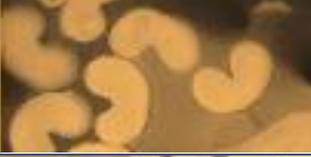
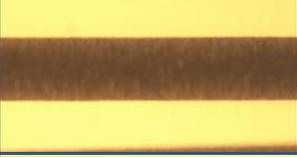
Изучено влияние модификации ПАН волокон катамина АБ на физико-механические свойства волокон. Для оценки особенностей структуры полученных модифицированных катамином АБ модельных волокон, высушенных при 130–140 °С (на «утюгах»), проведена серия испытаний по определению их усадки (рисунок 1).

Анализ полученных данных показал, что введение катамина АБ в прядильный раствор приводит к увеличению усадки ПАН волокон в два раза: с 4,6 % (в случае немодифицированного волокна) до ~ 8,1–8,8 %. При этом количество модификатора (при мольном соотношении «сульфогруппы полимера : катамин АБ» от 1:1 до 1:10) практически не влияет на величину усадки. Полученные данные свидетельствуют о формировании более лабильной структуры волокон в случае содержания модификатора в прядильном растворе и, следовательно, в полимерном субстрате.

Для исследования и анализа влияния содержания модификатора в прядильном растворе на физико-ме-

Таблица 2 – Микрофотографии продольного вида ПАН гель-волокон и поперечного среза волокон, высушенных при температуре 20 ± 5 °С

Table 2 – Micrographs of the longitudinal view of PAN gel fibers and the cross-section of fibers dried at a temperature of 20 ± 5 °С

Мольное соотношение «-SO ₃ H ВТП : модификатор»	Продольный вид гель-волокон (до стадии пластификационного вытягивания)	Поперечные срезы волокон (микроскопирование в глицерине), высушенных:	
		при температуре 20 ± 5 °С	при температуре 130-140 °С (на «утюгах») с усадкой 21%
Без модификатора			
1:1			
1:2			
1:5			
1:10			

Химические свойства модифицированных волокон была также проведена наработка модельных образцов ПАН волокон из прядильных растворов, содержащих 0, 0,5, 1,0 и 2,5 % (масс.) бактерицидного препарата. Указанные значения концентрации катамина АБ в прядильных растворах соответствуют следующим мольным соотношениям «сульфогруппы сополимера : катамин АБ»: 1:0; 1:1,45; 1:2,86; 1:5,86. На рисунке 2 приведены результаты изучения физико-механических свойств образцов модифицированных волокон, полученных из прядильных растворов с различным содержанием катамина АБ и высушенных в сушильном шкафу в свободном состоянии при температуре (98 ± 2) °С. Коэффициент вариации при определении прочность составил не более 4,0 %, удлинения при разрыве – не более 4,7 %, усадки – не более 2,5 %.

удлинения при разрыве – не более 4,7 %, усадки – не более 2,5 %.

Волокна, сформованные из прядильных растворов, содержащих различное количество бактерицидного препарата катамин АБ, характеризуются тем же уровнем удельной разрывной нагрузки, что и немодифицированное волокно. Введение модификатора в прядильный раствор приводит к незначительному увеличению удлинения ПАН волокна при разрыве по сравнению с немодифицированным образцом (с 19,0 % до 20,0–24,0 %).

Изучение антимикробной активности ПАН волокон, модифицированных путем введения различного количества модификаторов в прядильные растворы в мольном соотношении «сульфогруппы : катамин АБ»

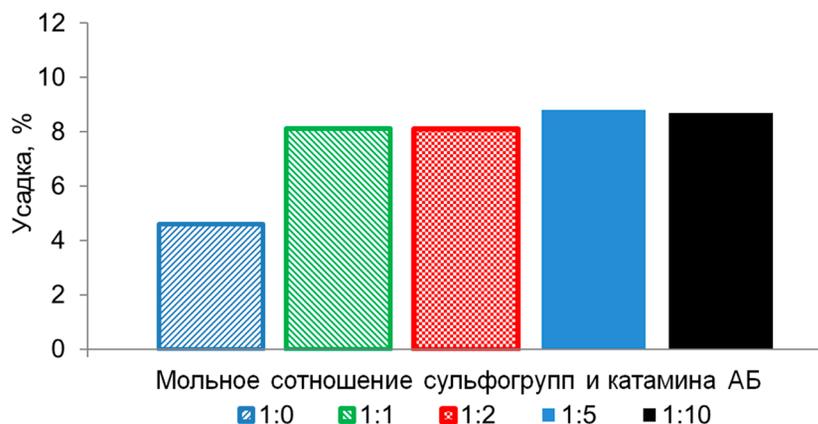


Рисунок 1 – Усадка модифицированных катамином АБ ПАН волокон, высушенных при 130–140 °С (на «утюгах») / Figure 1 – Shrinkage of PAN fibers modified with catamine AB, dried at 130–140 °C (on "irons")

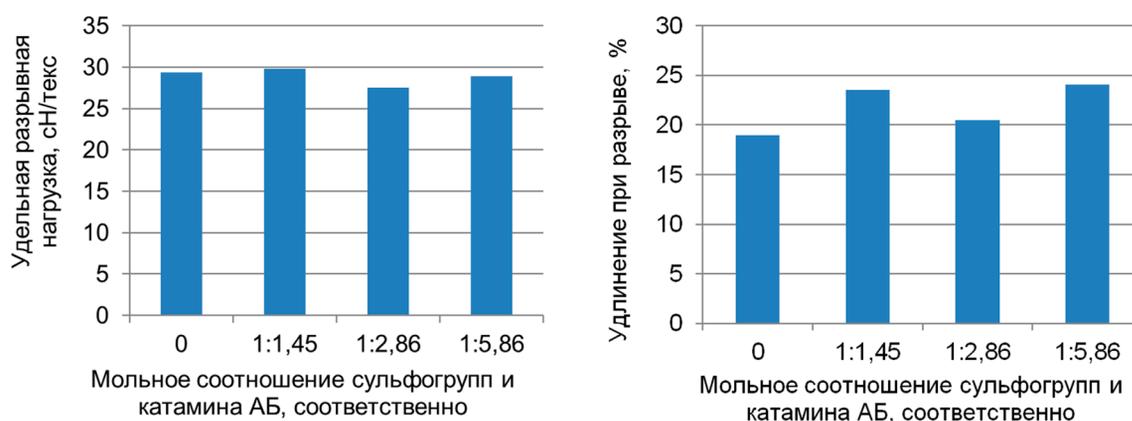


Рисунок 2 – Результаты определения физико-механических свойств модифицированных волокон / Figure 2 – Results of determining the physical and mechanical properties of modified fibers

1:1, 1:2 или 1:5 и высушенных при температуре 130–140 °С, показало снижение количества тест-микробов *Escherichia coli* и *Staphylococcus aureus* на уровне 99–100 % (таблица 3).

Для ПАН волокон, наряду с большим количеством достоинств, характерен недостаток: они плохо окрашиваются (или практически не окрашиваются) анионными красителями. Эта проблема значительно затрудняет

крашение этого вида синтетических волокон в смесях с шерстью, которая обычно окрашивается анионными красителями. Исходя из химической природы ВТП и бактерицидного препарата, можно предположить, что в процессе модификации ПАН волокна катамином АБ происходит образование ионных связей между препаратом и функциональными группами волокнообразующего сополимера по следующей схеме:

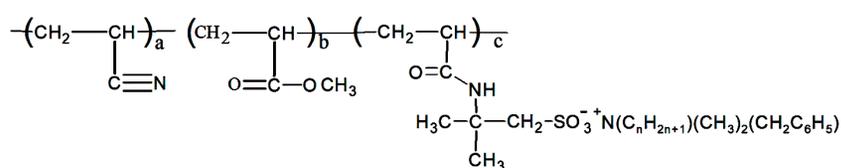


Таблица 3 – Результаты изучения биологической активности модифицированных катамином АБ ПАН волокон
 Table 3 – Results of the study of the biological activity of PAN fibers modified with catamine AB

Мольное соотношение «сульфогруппы : катамин АБ»	Норма*	Фактическое значение показателей по результатам исследований	
		E. coli ATCC 25922	St. Aureus ATCC 25923
без модификатора	Снижение количества тест-микроорганизмов не менее 90–95 %	Снижение количества тест-микроорганизмов отсутствует	
1:1		Снижение количества тест-микроорганизмов	
		99 %	100 %
1:2		Снижение количества тест-микроорганизмов	
		99,7 %	100 %
1:5		Снижение количества тест-микроорганизмов	
	100 %	100 %	

Примечание: *Нормирующее значение указано в соответствии с «Методическими указаниями по лабораторной оценке антимикробной активности текстильных материалов, содержащих антимикробные препараты» № 28-6/32 от 18.11.1983.

В связи с возможностью ионного взаимодействия между сульфат-анионом, содержащемся в звеньях АМПС полимерного субстрата, и катионом катамина АБ высказано предположение, что модификация волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] повлияла на их способность окрашиваться катионными красителями. Поэтому с целью выяснения этого влияния была проведена серия экспериментов по крашению модифицированных катамином АБ гель-волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] катионным красителем метиленовым голубым. В качестве образца сравнения использовали волокно на основе поли[АН-со-МА], сформированное в условиях, идентичных формированию волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Использование образцов волокон на основе сополимера, не содержащего сомономеров с кислотными группами, объясняется следующими причинами. Общеизвестно, что в крашении ПАН волокон катионными красителями участвуют кислотные группы. Однако это не исключает протекания этого процесса за счет инклюзионных эффектов, то есть проникновения ионов красителя внутрь филаментов по системе пор и закрепления их на внутренней поверхности полимерного субстрата на его активных центрах. Кроме того, ионы красителя могут присутствовать «механически» в порах и пустотах полимерного субстрата, оказываясь после термической сушки закапсулированными в нем. Поэтому с целью оценки «вкла-

да» инклюзионных эффектов в обеспечении того или иного колористического эффекта при крашении ПАН волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС] катионными красителями проводили параллельный эксперимент с волокном на основе поли[АН-со-МА] (рисунок 3).

Обращает на себя внимание факт окрашивания волокна на основе поли[АН-со-МА]. Причинами этого могут быть возможность протекания (в незначительной степени) гидролиза сложноэфирной связи в звеньях МА или гидролиза нитрильных групп АН в ходе синтеза, в результате чего в макромолекулах, пусть и в небольшом количестве, появляются карбоксильные группы, а также особенности надмолекулярной структуры объектов исследования (волокон), выражающиеся в возможности диффузии ионов красителя в полимерный субстрат и удержания их в нем за счет ван-дер-ваальсовых и других взаимодействий (адгезия красителя на внешней и внутренней поверхности волокон). Тем не менее, существует возможность окрашивания волокна на основе сополимеров АН, не содержащих группы, имеющие сродство к катионным красителям.

Присутствие модификатора в полимерном субстрате модельных образцов волокон влияет на количество сорбированного красителя, что проявляется в приведенных значениях индекса светлоты. Введение в прядильный раствор модификатора в любом исследуемом количестве, приводит к достаточно резкому (в среднем,

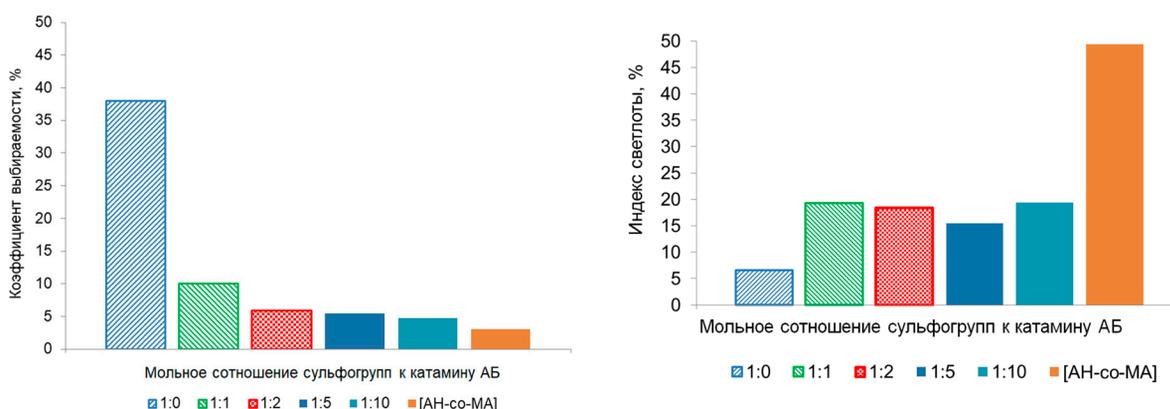


Рисунок 3 – Результаты крашения модифицированных ПАН волокон в гель-состоянии метиленовым голубым
 Figure 3 – Results of dyeing modified PAN fibers in the gel state with methylene blue

в 4–6 раз] увеличению индекса светлоты. Это позволяет предположить высокую вероятность ионного взаимодействия между сульфогруппой полимерного субстрата и катионом модификатора, что нарушает стандартный ход крашения, имеющий место в случае с немодифицированным волокном. Причем, варьирование содержания модификатора в прядильном растворе (в сторону его сверхэквивалентного содержания по отношению к ионогенным группам сополимера) не оказывает существенного влияния на их способность к окрашиванию.

Однако более высокая способность к крашению модифицированных образцов волокон, по сравнению с волокном на основе поли[АН-со-МА], позволяет предположить, что, во-первых, не все сульфогруппы полимерного субстрата оказываются связанными с модификаторами, во-вторых, определенный «вклад» в достигнутый колористический эффект могут внести отрицательно заряженные ионы хлора модификатора, принимающие на себя роль кислотных групп соответствующих сомономеров.

С целью подтверждения предположения о том, что введение модификатора катамина АБ в полимерный субстрат может привести к появлению у модельных волокон сродства к анионным красителям была проведена серия экспериментов по крашению модифицированных волокон, предварительно высушенных при температуре (98 ± 2) °C в свободном состоянии. В качестве образцов сравнения использованы образцы немодифицированного ПАН волокна.

На рисунке 4 приведены зависимости коэффициента выбираемости анионных красителей и индекса светлоты окрашенных модифицированных волокон от содержания катамина АБ в прядильных растворах.

Таким образом, химическая природа красителя влияет на коэффициент его выбираемости из красильной ванны (количество сорбированного красителя). Так, коэффициент выбираемости анионных красителей при крашении образцов модельных волокон, полученных из модифицированных прядильных растворов, значительно зависит от природы красителя. Наибольшие значения этого показателя наблюдаются в случае кислотных красителей (30–40 %). Увеличение количества введенного модификатора в прядильный раствор до сверхэквивалентного (по отношению к сульфогруппам АМПС) практически не влияет на значения коэффициента выбираемости красителей.

Определение индекса светлоты окрашенных образцов показало, что модифицированные ПАН волокна имеют индекс светлоты около 20–60 %, в то время как немодифицированный образец – 95 %.

Исследование процесса крашения модельных модифицированных ПАН волокон, высушенных на «утюгах» при 130–140 °C в условиях, обеспечивающих усадку 21 %, показало, что они приобретают сродство к анионным красителям и теряют сродство к катионным красителям. Это свидетельствует о том, что в результате модификации сульфогруппы АМПС ВТП исключаются из участия в сорбции красителя, а начинают «работать»

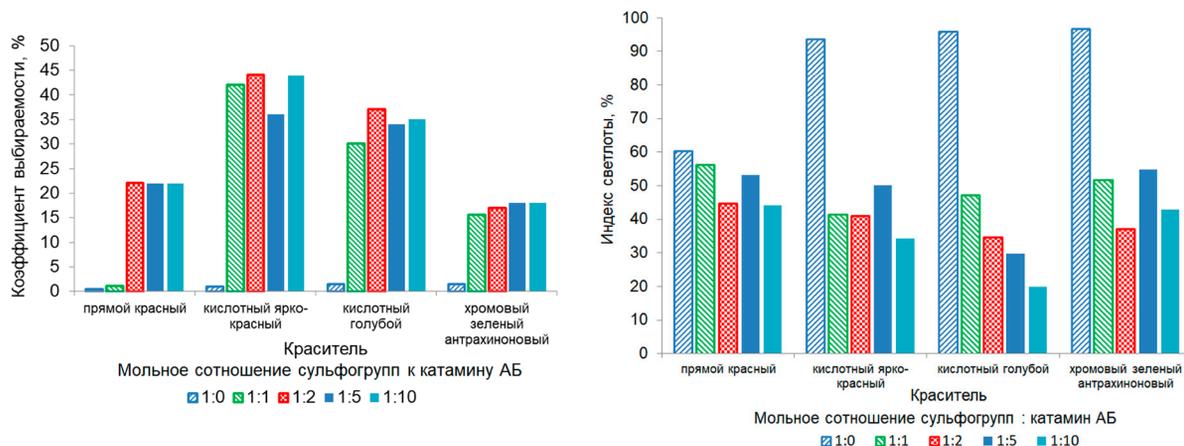


Рисунок 4 – Результаты крашения модифицированных ПАН волокон в сухом состоянии анионными красителями
 Figure 4 – Results of dyeing modified PAN fibers in a dry state with anionic dyes

катионы катамина АБ.

Выводы

Результаты проведенной работы позволяют установить возможность модификации ПАН волокон путем введения катамина АБ в прядильный раствор: введение модификатора не влияет на форму поперечного среза и морфологические особенности ПАН волокон, сформированных по диметилформамидному методу.

Отмечено, что модифицированные ПАН волокна проявляют бóльшую усадку (8,1–8,8 %), по сравнению с контрольным образцом (4,6 %). При этом наблюдается некоторый рост удлинения при разрыве. Изменение содержания катамина АБ в прядильных растворах не оказывает влияния на удельную разрывную нагрузку, биологическую активность образцов и коэффициент выбираемости анионных красителей.

Исследование окрашиваемости модельных образцов приводит к достаточно резкому (в среднем, в 4–6 раз) уменьшению коэффициента выбираемости катионного красителя метиленового голубого гель-волокнами на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС], что позволяет предположить высокую вероятность ионного взаимодействия между сульфогруппой полимерного субстрата и катионом катамина АБ. Коэффициент выбираемости анионных красителей при крашении образцов, модифицированных катамином АБ волокон, высушенных при температуре 98 ± 2 °С на воздухе, зна-

чительно зависит от природы красителя: наибольшие значения этого показателя (30–40 %) наблюдаются в случае кислотных красителей.

Проделанная работа указывает на возможность модификации полиакрилонитрильных волокон бактерицидным препаратом катамин АБ посредством их введения в волокнистую структуру через прядильный раствор. Небольшое изменение усадки модифицированных волокон по сравнению с немодифицированными образцами, вероятно, может быть учтено при текстильной переработке такой продукции; в противном случае этот показатель подлежит корректировке за счет изменения условий проведения некоторых технологических стадий (нитеобразования, ориентационного вытягивания, термомодификации).

Волокна, содержащие катамин АБ, приобретают способность окрашиваться анионными красителями (в зависимости от содержания модификаторов можно подбирать глубину крашения ПАН волокон), что делает реальной возможность совместного крашения модифицированных ПАН волокон и шерсти.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Верховцова, Н.В., Будкуте, И.А., Карулина, А.А. и Геллер, Б.Э. (2007). Экспериментальное изучение сорбции солей четвертичных аммониевых оснований из водных растворов ионогенным полиэфирным волокном, *Труды Белорусского государственного технологического университета. Серия 4. Химия и технология органических веществ*, Вып. XVI, С. 139–142.

Лобанова, Л.А., Золотарева, С.В. и Молоков, В.Л. (1988). *Лабораторный практикум по курсу «Основы колорирования текстильных материалов»*. Москва: Легпромиздат, СССР.

Пчелова, Н.В., Щербина, Л.А., Городнякова, И.С. и Будкуте, И.А. (2020). Исследование влияния условий формования на окрашиваемость гель-волокон из сополимеров акрилонитрила, метилакрилата и итаконовой кислоты, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (39), С. 118–129. doi: org/10.24411/2079-7958-2020-13912.

Седов, А.В., Трегуб, Т.И. и Астафьева, И.П. (2000). *Применение изделий из антимикробных материалов в комплексе профилактических мероприятий в чрезвычайных ситуациях: Методические рекомендации № 99/108*. Москва: ВЦМК «Защита», РФ.

Чеголи, А.С. и Кваша, Н.М. (1982). *Аналитический контроль производства синтетических волокон. Справочное пособие*. Москва: Химия, СССР.

Щербина, Л.А. (2002). *Разработка и внедрение синтеза волокнообразующего терсополимера акрилонитрила в гидротропном растворителе*, дис. канд. тех. наук: 05.17.06, Минск, 2002, 161 с.

Щербина, Л.А. (2020). Синтез и свойства сополимеров на основе акрилонитрила и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты. *Химические волокна*, № 6, С. 24–29.

Akcaaya, A. and Ozseker, E.E. (2019). Modification of polyacrylonitrile fabric for antibacterial application by tetracycline immobilization. *Polymer Testing*, Vol. 78, No. 3, pp. 105959–105974.

Aksoy, O.E., Ates, B. and Cerkez, I. (2017). Antibacterial polyacrylonitrile nanofibers produced by alkaline hydrolysis and chlorination. *Journal of Materials Science*, Vol. 52, No. 17, pp. 10013–10022. DOI: 10.1007/s10853-017-1240-1.

Chang, L., Duan, W., Chen, A., Li, J., Huang, S., Tang, H., Pan, G., Deng, Y., Zhao, L., Li, D. and Zhao, L. (2020). Preparation of polyacrylonitrile-based fibres with chelated Ag ions for antibacterial applications. *Royal Society open science*, No. 7, p. 200324. doi: 10.1098/rsos.200324.

Haktaniyan, M. and Bradley, M. (2022). Polymers showing intrinsic antimicrobial activity. *Chem. Soc. Rev.*, No. 51, pp. 8584–8611. DOI: 10.1039/d2cs00558a.

Khajavi, R. (2007). The Antimicrobial Effect of Benzalkonium Chloride on Some Pathogenic Microbes Observed on Fibers of Acrylic Carpet. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 10, No. 4, pp. 598–601. DOI: 10.3923/pjbs.2007.598.601.

Okay, Z., Erdoğan, M.K., Karaca, B., Karakışla, M. and Saçak, M. (2022). Investigation of antibacterial properties of polyacrylonitrile fibers modified by new functional groups and silver nanoparticles. *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 46, No. 4, pp. 1137–1151. DOI: 10.55730/1300-0527.3422.

Selvam, A.K. and Nallathambi, G. (2015). Polyacrylonitrile/Silver Nanoparticle Electrospun Nanocomposite Matrix for Bacterial Filtration. *Fibers and polymers*. Vol. 16, No. 6, pp. 1327–1335. DOI: 10.1007/s12221-015-1327-8.

Yang, C., Wang, B., Zhang, Y. and Wang, H. (2015). Preparation and properties of polyacrylonitrile fibers with guanidine groups. *Fibers and Polymers*, Vol. 16, pp. 1611–1617. DOI: 10.1007/s12221-015-4480-1.

Yang, Q., Guo, X., Ye, X., Zhu, H., Kong, L. and Hou, T. (2020). Functionalized polyacrylonitrile fibers with durable antibacterial activity and superior Cu (II)-removal performance. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 245, No. 15, pp. 122–135.

Yao, Y., Liang, Y., Navik, R., Dong, X., Cai, Y. and Zhang, P. (2019). Modification of Polyacrylonitrile Fibers by Coupling to Thiosemicarbazones. *Materials*, No. 12, pp. 3980–3998. doi:10.3390/ma12233980.

Zhang, G., Xiao, Y., Yin, Q., Yan, J., Zang, C. and Zhang, H. (2021). In Situ Synthesis of Silver Nanoparticles on Amino-Grafted Polyacrylonitrile Fiber and Its Antibacterial Activity. *Nanoscale Res. Lett.*, Vol. 16, No. 1, pp. 34–41. doi.org/10.1186/s11671-021-

03496-0.

Zhu, X., Liu, H., Wu, Y., Ye, J., Li, Y. and Liu, Z. (2022). Preparation and catalytic properties of polydopamine-modified polyacrylonitrile fibers functionalized with silver nanoparticles. *RSC Adv.*, Vol. 12, No 40, pp. 25906–25911. doi: 10.1039/d2ra03845e.

REFERENCES

Verkhovtsova, N.V., Budkute, I.A., Karulina, A.A. and Geller, B.E. (2007). Experimental study of sorption of quaternary ammonium base salts from aqueous solutions by ionogenic polyester fiber [Eksperimental'noye izucheniye sorptsii soley chetvertichnykh ammoniyevykh osnovaniy iz vodnykh rastvorov ionogennym poliefirnym voloknom]. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya 4. Khimiya i tekhnologiya organicheskikh veshchestv = Transactions of the Belarusian State Technological University. Series 4. Chemistry and Technology of Organic Substances*, Issue XVI, pp. 139–142 (In Russian).

Lobanova, L.A., Zolotareva, S.V. and Molokov, V.L. (1988). *Laboratornyy praktikum po kursu «Osnovy kolorirovaniya tekstil'nykh materialov»* [Laboratory practical training on the course "Fundamentals of coloring textile materials"]. Moscow: Legpromizdat, USSR (In Russian).

Pchalova, N.V., Shcherbina, L.A., Gorodnyakova, I.S. and Budkute, I.A. (2020). Study of the influence of spinning conditions on the dyeability of gel fibers from copolymers of acrylonitrile, methyl acrylate, and itaconic acid [Issledovaniye vliyaniya usloviy formovaniya na nakrashivayemost' gel'-volokon iz sopolimerov akrilonitrila, metilakrilata i itakonovoy kisloty]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, No. 2 (39), pp. 118–129. doi: org/10.24411/2079-7958-2020-13912 (In Russian).

Sedov A.V., Tregub, T.I. and Astafyeva, I.P. (2000). *Primeneniye izdeliy iz antimikrobnnykh materialov v komplekse profilakticheskikh meropriyatiy v chrezvychaynykh situatsiyakh: Metodicheskiye rekomendatsii* [Use of products made of antimicrobial materials in a complex of preventive measures in emergency situations: Methodological recommendations], No 99/108. Moscow: VTSMK «Zashchita», Russian Federation (In Russian).

Chegoli, A.S. and Kvasha, N.M. (1982). *Analiticheskiy kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon. Spravochnoye posobiye* [Analytical control of the production of synthetic Fibers. Reference Manual]. Moscow: Khimiya, USSR (In Russian).

Shcherbina, L.A. (2002). *Razrabotka i vnedreniye sinteza voloknoobrazuyushchego tersopolimera akrilonitrila v gidrotropnom rastvoritele Development and Implementation of the Synthesis of a Fiber-Forming Acrylonitrile Tersopolymer in a Hydrotropic Solvent*, Cand. Sci. [Eng.] Dissertation: 05.17.06, Minsk, 2002, 161 p. (In Russian).

Shcherbina, L.A. (2020). Synthesis and Properties of Copolymers Based on Acrylonitrile and 2-Acrylamide-2-Methylpropanesulfonic Acid [Sintez i svoystva sopolimerov na osnove akrilonitrila i 2-akrilamid-2-metilpropansul'fokisloty]. *Khimicheskiye volokna = Chemical Fibers*, No. 6, pp. 24–29 (In Russian).

Akkaya, A. and Ozseker, E.E. (2019). Modification of polyacrylonitrile fabric for antibacterial application by tetracycline immobilization. *Polymer Testing*, Vol. 78, No. 3, pp. 105959–105974.

Aksoy, O.E., Ates, B. and Cerkez, I. (2017). Antibacterial polyacrylonitrile nanofibers produced by alkaline hydrolysis and chlorination. *Journal of Materials Science*, Vol. 52, No. 17, pp. 10013–10022. DOI: 10.1007/s10853-017-1240-1.

Chang, L., Duan, W., Chen, A., Li J., Huang, S., Tang, H., Pan, G., Deng, Y., Zhao, L., Li, D. and Zhao, L. (2020). Preparation of polyacrylonitrile-based fibres with chelated Ag ions for antibacterial applications. *Royal Society open science*, No. 7, p. 200324. doi: 10.1098/rsos.200324.

Haktaniyan, M. and Bradley, M. (2022). Polymers showing intrinsic antimicrobial activity. *Chem. Soc. Rev.*, No. 51, pp. 8584–8611. DOI: 10.1039/d2cs00558a.

Khajavi, R. (2007). The Antimicrobial Effect of Benzalkonium Chloride on Some Pathogenic Microbes Observed on Fibers of Acrylic Carpet. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Vol. 10, No. 4, pp. 598–601. DOI: 10.3923/pjbs.2007.598.601.

Okay, Z., Erdođan, M.K., Karaca, B., Karakisla, M. and Sađak, M. (2022). Investigation of antibacterial properties of polyacrylonitrile fibers modified by new functional groups and silver nanoparticles. *Turkish Journal of Chemistry*, Vol. 46,

No. 4, pp. 1137–1151. DOI: 10.55730/1300-0527.3422.

Selvam, A.K. and Nallathambi, G. (2015). Polyacrylonitrile/Silver Nanoparticle Electrospun Nanocomposite Matrix for Bacterial Filtration. *Fibers and polymers*. Vol. 16, No. 6, pp. 1327–1335. DOI: 10.1007/s12221-015-1327-8.

Yang, C., Wang, B., Zhang, Y. and Wang, H. (2015). Preparation and properties of polyacrylonitrile fibers with guanidine groups. *Fibers and Polymers*, Vol. 16, pp. 1611–1617. DOI: 10.1007/s12221-015-4480-1.

Yang, Q., Guo, X., Ye, X., Zhu, H., Kong, L. and Hou, T. (2020). Functionalized polyacrylonitrile fibers with durable antibacterial activity and superior Cu (II)-removal performance. *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 245, No. 15, pp. 122–135.

Yao, Y., Liang, Y., Navik, R., Dong, X., Cai, Y. and Zhang, P. (2019). Modification of Polyacrylonitrile Fibers by Coupling to Thiosemicarbazones. *Materials*, No. 12, pp. 3980–3998. doi:10.3390/ma12233980.

Zhang, G., Xiao, Y., Yin, Q., Yan, J., Zang, C. and Zhang, H. (2021). In Situ Synthesis of Silver Nanoparticles on Amino-Grafted Polyacrylonitrile Fiber and Its Antibacterial Activity. *Nanoscale Res. Lett.*, Vol. 16, No. 1, pp. 34–41. doi.org/10.1186/s11671-021-03496-0.

Zhu, X., Liu, H., Wu, Y., Ye, J., Li, Y. and Liu, Z. (2022). Preparation and catalytic properties of polydopamine-modified polyacrylonitrile fibers functionalized with silver nanoparticles. *RSC Adv.*, Vol. 12, No 40, pp. 25906–25911. doi: 10.1039/d2ra03845e.

Информация об авторах

Information about the authors

Пчелова Наталья Владимировна

Старший преподаватель кафедры «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Щербина Леонид Александрович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

E-mail: htvms@tut.by

Будкоте Ирина Александровна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Химия и технология высокомолекулярных соединений», Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь.

Natallia V. Pchalova

Senior Lecturer of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Leonid A. Shcherbina

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

E-mail: htvms@tut.by

Iryna A. Budkute

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor of the Department "Chemistry and Technology of High-Molecular Compounds", Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

Оценка уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организациях легкой промышленности

Т. В. Касаева

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. Современные условия функционирования коммерческих организаций немислимы без внедрения информационно-коммуникационных технологий во все бизнес-процессы. Актуальной становится оценка достигнутых результатов в этом направлении, позволяющая определить положение организации по сравнению с конкурентами, выявить наиболее проблемные сферы, требующие первоочередного вмешательства.

Целью исследования является разработка методического инструментария для количественной оценки уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организации для определения направлений управленческих воздействий на его дальнейшее повышение.

Предлагаемая методика оценки уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организации основана на анкетировании руководителей и специалистов, которое является единственно возможным способом получения информации по целому ряду показателей, характеризующих процессы цифровизации. Она комплексно и всесторонне характеризует цифровое развитие организации и позволяет дать ему количественную оценку по следующим слагаемым (субиндексам): ИКТ в бизнес-процессах организации, инфраструктура ИКТ, навыки персонала в области ИКТ, безопасность ИКТ и ИКТ-инновации. Итоговое значение индекса развития ИКТ в организации определяется с учетом весомости каждого из субиндексов.

Апробация разработанной методики проведена в организациях легкой промышленности города Витебска и позволила определить наиболее общие направления развития ИКТ: совершенствование навыков персонала в выявлении и устранении технических проблем эксплуатации цифровых устройств, а также в работе с программным обеспечением, массивами больших данных, практике применения технологий искусственного интеллекта; формирование корпоративной политики информационной безопасности; активизация действий по внедрению ИКТ-инноваций в бизнес-процессы организаций.

Ключевые слова: информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), ИКТ в бизнес-процессах организации, инфраструктура ИКТ, навыки персонала в области ИКТ, безопасность ИКТ, ИКТ-инновации.

Информация о статье: поступила 11 ноября 2025 года.

Assessment of the level of ICT development in light industry organizations

Tamara V. Kasayeva

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. Modern conditions of functioning of commercial organizations are unthinkable without the introduction of information and communication technologies in all business processes. Assessment of the results achieved in this area is becoming relevant, which makes it possible to determine the position of the organization in comparison with competitors, to identify the most problematic areas requiring priority intervention.

The purpose of the study is to develop methodological tools for quantifying the level of information and communication technology development in an organization in order to determine the directions of managerial impacts on its further improvement.

The proposed methodology for assessing the level of development of information and communication technologies in an organization is based on a survey of managers and specialists, which is the only possible way to obtain information on a number of indicators characterizing the processes of digitalization. It comprehensively and comprehensively characterizes the digital development of an organization and allows it to be quantified according to the following terms (sub-indexes): ICT

in the organization's business processes, ICT infrastructure, ICT staff skills, ICT security and ICT innovation. The final value of the ICT development index in an organization is determined taking into account the weight of each of the sub-indexes. The approbation of the developed methodology was carried out in the organizations of the light industry of Vitebsk city and allowed to identify the most general directions of ICT development: improving staff skills in identifying and eliminating technical problems in the operation of digital devices, as well as in working with software, big data arrays, the practice of using artificial intelligence technologies; formation of corporate information security policy; activation of measures to implement ICT innovations in the business processes of organizations.

Keywords: information and communication technologies, ICT In the business processes of an organization, ICT infrastructure, ICT personnel skills, ICT security, ICT innovation.

Article info: received November 11, 2025.

Введение

Проблемы готовности организаций к цифровому развитию всесторонне дискутируются современными исследователями (Долганова О.И. и Деева Е.А., 2019), (Долженко Р.А. и Малышев Д.С.), (Ватутина Л.А. [и др.], 2021). Одним из направлений активных исследований в данной сфере можно отметить разработку методик оценки уровня цифровизации организаций. Исследование проблем оценки развития информационно-коммуникационных технологий на уровне организаций ведётся как белорусскими (Головенчик Г.Г., 2023), (Климченя Л.С., 2024), (Ивашко В.М. и Романова Е.С., 2023), так и российскими экономистами (Бабкин А.В. и Пестова А.Ю., 2019), (Гилева Т.А., 2019), (Куприянова, М.В., 2019), (Мерзлов И.Ю. [и др.], 2020), (Чурсин А.А. и Кокуйцева Т.В., 2022). Многие авторы рассматривают оценку цифровизации во взаимосвязи регионального и корпоративного уровня, отраслевого и корпоративного уровня (Юрак В.В. [и др.], 2023).

Так, в работе (Мерзлов И.Ю. [и др.], 2020) авторами на основе оценки цифровизации ряда бизнес-процессов: управление персоналом, производство, маркетинг, логистика, финансы и бухгалтерия, общехозяйственная деятельность – предлагается методика рейтингования организаций по уровню цифровизации: локальная цифровизация, частичная цифровизация, комплексная цифровизация, умная организация, цифровая экосистема.

В исследовании (Чурсин А.А. и Кокуйцева Т.В., 2022), основанном на оценке научно-технологического, производственного, кадрового, финансового, потребительского и инфраструктурного факторов, организации предлагается ранжировать по уровню цифровой зрелости: базовый, формирующийся, средний, продвинутый, высокий.

Методика экспресс-оценки уровня цифрового развития промышленной организации, изложенная в публикации (Кулагина Н.А. [и др.], 2021), позволяет по 12 показателям дать количественную оценку уровня цифрового развития объекта исследования с присвоением этому уровню статуса критического, низкого, среднего либо высокого.

Мониторинг уровня цифрового развития промышленной организации предлагают (Бабкин А.В. и Пестова А.Ю., 2019) по 19 показателям, объединенным в шесть групп: показатели цифровой инфраструктуры, программного обеспечения, материально-технического обеспечения, трудовых ресурсов, финансовые, организационно-управленческие.

Изучение исследований в области оценки уровня внедрения информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в организации позволяет сделать следующие выводы:

- во-первых, большинство авторов разграничивают понятия «цифровизация», «цифровая трансформация», «цифровое развитие», «цифровая зрелость», однако набор показателей для оценки этих процессов у разных авторов является схожим по многим позициям и во всех случаях речь идет о внедрении и использовании в организации информационно-коммуникационных технологий;

- во-вторых, большинство методик скорее решает задачу присвоения определенного рейтинга организации, чем поиск резервов роста уровня цифровизации;

- в-третьих, не всегда понятен механизм оценки отдельных показателей без дополнительных пояснений, например, «цифровая грамотность персонала» или «уровень цифровых компетенций менеджмента».

Целью данного исследования является разработка методического инструментария для количественной

оценки уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организации для определения направлений управленческих воздействий на его дальнейшее повышение.

Реализация намеченной цели связана с несколькими этапами исследований. На первом этапе обоснована структура индекса и составляющих его субиндексов для оценки уровня развития ИКТ в организации (Касаева Т.В. и Полушина А.А., 2023). Далее исследовались факторы, препятствующие развитию процессов цифровизации в организациях (Касаева Т.В. и Конюшко Е.С., 2025). На данном этапе обоснован перечень показателей, формирующих каждый субиндекс, и разработана методика его количественной (балльной) оценки.

Апробация разработанной методики проводилась на примере пяти организаций легкой промышленности города Витебска.

Обоснование системы показателей для комплексной оценки уровня развития ИКТ в организации

С учетом преемственности инструментов оценки уровня развития ИКТ в стране, в регионе, в отдельно взятой организации и сохраняя концепцию международного индекса развития ИКТ, в исследовании (Касаева Т.В. и Полушина А.А., 2023) авторами предложена следующая структура субиндексов для расчета индекса развития ИКТ в организации:

- ИКТ в бизнес-процессах ($ИКТ_{БП}$);
- инфраструктура ИКТ ($ИКТ_{ИС}$);
- навыки в области ИКТ ($ИКТ_{Н}$);
- безопасность ИКТ ($ИКТ_{Б}$);
- ИКТ-инновации ($ИКТ_{ИН}$).

Итоговая оценка уровня развития ИКТ при этом предполагается по формуле:

$$ИКТ_{ОРГ} = ИКТ_{БП} \cdot 0,40 + ИКТ_{ИС} \cdot 0,25 + ИКТ_{Н} \cdot 0,10 + ИКТ_{Б} \cdot 0,15 + ИКТ_{ИН} \cdot 0,10 \quad (1)$$

Коэффициенты весомости каждого из субиндексов определены на основе экспертного опроса специалистов организаций, обзора литературных источников и собственного мнения исследователей (Касаева Т.В. и Полушина А.А., 2023).

Проведение дальнейших исследований в данном направлении потребовало конкретизации перечня показателей, которые могут быть задействованы в расчете каждого из субиндексов. Необходимость данной разработки обусловлена следующими обстоятельствами:

– во-первых, основным источником информации об уровне развития ИКТ в организациях Республики Беларусь является форма государственных статистических наблюдений 6-икт «Анкета об использовании цифровых технологий в организации», содержание которой не позволяет оценить отдельные субиндексы: например, навыки персонала организации в области информационно-коммуникационных технологий;

– во-вторых, многие показатели формы 6-икт предполагают ответ «да» либо «нет», что не позволяет проанализировать организации по ряду позиций: например, электронные продажи или электронные закупки могут иметь разовый либо постоянный характер;

– в-третьих, как и отмечалось ранее (Касаева Т.В. и Полушина А.А., 2023), важным источником информации может послужить анкетирование работников организации. Следовательно, показатели должны быть понятны респондентам и их круг должен быть достаточно ограниченным.

В связи с этим разработка системы показателей для оценки уровня развития ИКТ в организации основана на необходимости проведения экспертного опроса как основной формы наблюдения.

Для оценки уровня развития ИКТ в бизнес-процессах выделены основные бизнес-процессы производственной организации: производство; продажи; персонал; закупки; финансы. При этом, на наш взгляд, первоначально необходимо оценить непосредственно систему управления отдельными бизнес-процессами. Степень, в которой современные технологии используются в бизнес-процессах организации, характеризует уровень автоматизации (цифровизации) ее основных бизнес-процессов.

Многие современные организации имеют в своей структуре специальные отделы, которые занимаются развитием и внедрением ИКТ-технологий: IT-отдел, сектор информационно-коммуникационных технологий, отдел автоматизации системы управления и т. д. В некоторых организациях могут отсутствовать специальные структурные отделы, но в штатном расписании вводятся соответствующие должности специалистов. Поэтому, оценивая ИКТ в бизнес-процессах организации, необходимо обратить внимание на наличие специализированного структурного подразделения или отдельного специалиста, который занимается цифровизацией процессов управления.

В оценке инфраструктуры ИКТ в организации целесообразно применить такие критерии, которые, по нашему мнению, отражают создание эффективной среды для обмена информацией взаимодействия как внутри организации, так и с внешней средой. Следовательно, к ним могут быть отнесены:

- наличие в организации локальной сети, предоставляющей возможность внутренней коммуникации сотрудников, использования общих информационных ресурсов и разделения данных;

- использование в организации облачных сервисов, которые минимизируют инвестиции в собственные серверы и программное обеспечение: например, популярная система управления предприятием 1С через облачную платформу предлагает дополнительные функции и возможности, в том числе анализ отчётности, резервное копирование данных и другие;

- наличие в организации ограничений на общий доступ в сеть Интернет в современных реалиях означает не просто запрет на посещение определенных сайтов в рабочее время и на рабочем месте, а, прежде всего, блокировку доступа к веб-ресурсам, которые могут представлять угрозу безопасности или не соответствовать политике данной организации; предоставление доступа к определенным ресурсам только авторизованным пользователям и др.;

- общий уровень компьютеризации предполагает оценку внедрения и использования в рабочих процессах организации электронно-вычислительной техники, программ, различных интернет-сервисов и т. д.

Навыки в области ИКТ по результатам проведенных исследований (Касаева Т.В. и Конюшко Е.С., 2025) относятся к числу основных факторов, сдерживающих внедрение ИКТ в организациях различных видов экономической деятельности. Воздействие этого фактора усиливается в ситуации, когда первостепенным фактором, сдерживающим развитие ИКТ в организации, является нехватка специалистов в этой области (Касаева Т.В. и Конюшко Е.С., 2025). Определяющей роли цифровых навыков, компьютерной грамотности работников в оценке цифровизации организации уделяют внимание многие авторы: [Бабкин А.В. и Пестова А.Ю., 2019], [Головенчик Г.Г., 2023], [Кулагина Н.А. [и др.], 2021] и другие исследователи.

Обобщение различных точек зрения, изучение мнений руководителей и специалистов организаций позволило включить в оценку ИТ-компетентности работников

следующий ряд навыков:

- навык использования Интернета и поисковых систем;

- навык фильтрации цифровых данных, информации и цифрового контента;

- навык воспроизведения цифрового контента;

- навык копирования, перемещения и сохранения цифровых данных, информации и цифрового контента;

- навык использования цифровых данных, информации и цифрового контента для профессионального развития;

- навык использования электронной почты, мессенджеров, социальных сетей;

- навык использования онлайн-сервисов для профессиональной деятельности;

- навык создания и редактирования, форматирования текстов;

- навык визуализации аналитического материала;

- навык выявления технических проблем при эксплуатации цифровых устройств;

- навык устранения технических проблем при эксплуатации цифровых устройств;

- навык выявления проблем работы программного обеспечения;

- навык устранения проблем работы программного обеспечения;

- навык отбора оптимального программного обеспечения для решения конкретных профессиональных задач;

- навык работы с технологией «искусственный интеллект»;

- навык работы с технологией «Большие данные».

В современных условиях, когда резко повысился риск распространения вредоносных программ, несанкционированного доступа к информации и другим неблагоприятных проблем, связанных с процессами цифровизации бизнеса, особую актуальность приобретает безопасность ИКТ. В оценку ИКТ-безопасности следует, прежде всего, включить оценку организации системы информационной безопасности, учитывая, что она может быть полноценной либо фрагментарной, либо может отсутствовать вообще. Важную роль при этом играет контроль (аудит) системы информационной безопасности, который может обеспечиваться собственными силами организации или с привлечением внешних экспертов. Контроль (аудит) системы информационной безопасности не только дает оценку ее текущего состояния,

но и определяет направления повышения ее уровня. Для реализации этих направлений организация разрабатывает (не разрабатывает) меры для повышения качества системы информационной безопасности организации, которые могут иметь как организационный характер (принятие корпоративной политики информационной безопасности), так и технический (внедрение программно-технических средств защиты).

Обеспечение информационной безопасности требует определения круга лиц, которые несут ответственность за нее. В свете постоянно растущих рисков, ответственность за систему безопасности может возлагаться на специально созданные отделы, на отдельных сотрудников, либо на стороннюю организацию на договорных условиях. С другой стороны, практически все руководители и специалисты организации, а во многих случаях и рабочие, имеют отношение к обеспечению информационной безопасности, поэтому в ее оценку должна включаться и такая составляющая как обучение персонала информационной безопасности.

ИКТ-инновации являются безусловным следствием развития цифровых технологий в организации. В соответствии с принятой в национальной экономике классификации инноваций они также могут быть подразделены на продуктовые инновации и инновации бизнес-процессов. Продуктовые ИКТ-инновации могут быть представлены разработкой и внедрением принципиально новых услуг по передаче и приему информации, нового программного обеспечения, новых компьютерных систем и баз данных, веб-порталов, добавлением новых функций или характеристик к существующим информационным технологиям и др. В качестве ИКТ-инноваций бизнес-процессов могут рассматриваться такие направления развития организации как компьютеризация проектно-конструкторских работ; внедрение автоматизированной системы контроля качества производства; внедрение новой, более эффективной обработки продукции, снижающей материальные и энергетические затраты; установка нового автоматизированного оборудования на производственной линии; использование нового программного обеспечения в технологическом процессе; использование нового программного обеспечения в менеджменте; использование новых способов документирования информации для облегчения и поощрения обмена информацией между различными структурными подразделениями в организации; создание и внедрение совершенно нового символа в целях позиционирования

продукта на новом рынке или придания ему нового имиджа. Следует отметить, что внедрение ИКТ-инноваций обуславливает необходимость дополнительных расходов, поэтому направления затрат на ИКТ-инновации также служит своего рода критерием развития цифровых технологий в организации, в частности, затраты на приобретение готового или разработку собственного нового программного обеспечения.

Все перечисленные показатели легли в основу разработки анкеты для проведения исследования уровня развития информационно-коммуникационных технологий в организации.

Материалы и методы исследования

В основу расчета индекса развития ИКТ в организации заложена пятибалльная система оценки. Однако, оценка каждого из включенных в анкету показателя или блока показателей имеет свои особенности.

Так, оценка уровня внедрения ИКТ в бизнес-процессы организации на первом этапе предполагает присвоение баллов непосредственно уровню системы управления основными бизнес-процессами (производство; продажи; персонал; закупки; финансы), а затем уровню автоматизации указанных бизнес-процессов. На втором этапе происходит расчет среднего балла, при этом средняя величина рассчитывается по каждому показателю с учетом мнений всех респондентов. Присвоение оценки по вопросу «ответственность за автоматизацию бизнес-процессов в организации» производится следующим образом:

- если в организации имеется специализированное структурное подразделение, которое занимается этими вопросами присваивается наивысшая оценка – «5»;
- если вопросами автоматизации бизнес-процессов занимается отдельный сотрудник – «3»;
- если организация привлекает для этих целей сторонние организации – «1».

В завершение по всему блоку показателей, характеризующих внедрение ИКТ в бизнес-процессы, рассчитывается средний балл, который делится на максимальную оценку «5», и это позволяет получить значение первого субиндекса комплексной оценки уровня развития ИКТ в организации – $ИКТ_{БП}$.

Оценка инфраструктуры ИКТ включает в большинстве своем такие вопросы, которые предполагают ответы «да» и «нет», кроме оценки уровня компьютеризации, для которой предлагается пятибалльная шкала. При этом ответу «да» присваивается оценка 5, а

ответу «нет» – 0. Решение о количественной оценке показателя «ограничения на общий доступ в сеть Интернет» принималось на основе того, что отсутствие такого ограничения «провоцирует» работника получать из интернет-источников информацию, которая не относится к его профессиональной деятельности. На наш взгляд, это снижает эффективность использования персонала организации, приводит к скрытым потерям рабочего времени. Вследствие этого, большинство организаций устанавливают ограничения на общий доступ, но не на получение информации, связанной с выполнением служебных обязанностей.

Далее по всему блоку рассчитывается средний балл, делением которого на 5 получается значение второго субиндекса – $ИКТ_{ис}$.

Для того, чтобы рассчитать субиндекс, характеризующий цифровые навыки ($ИКТ_H$) вначале рассчитывается среднее значение оценки цифровых навыков руководителей и цифровых навыков специалистов организации. Полученные средние значения суммируются и делятся на 2, в результате чего получается обобщенная оценка цифровых навыков руководителей и специалистов. Итоговый результат аналогично предыдущим блокам оценки делится на максимальный балл – 5.

При переводе ответов респондентов по вопросам блока информационной безопасности в балльную оценку применялась следующая шкала:

– при полном наличии в организации того или иного элемента безопасности (созданной полноценной системе безопасности, постоянном контроле этой системы, постоянном повышении ее качества и т. д.) присваивалась наивысшая оценка – «5»;

– при наличии отдельных фрагментов информационной безопасности, частичной или эпизодической проверке и т. д. – «3»;

– в случае отсутствия того или иного элемента безопасности выставлялась оценка «0».

В оценке ИКТ-инноваций организации, исходя из принятой в современной национальной отчетности классификации инноваций (продуктовые инновации и инновации бизнес-процессов), были выделены 2 вида инноваций: продуктовые ИКТ-инновации и ИКТ-инновации в бизнес-процессах организации. Респондентам предложен соответствующий перечень инноваций и возможность его дополнения. Для перевода ответов в балльную оценку разработана следующая шкала (таблица 1).

Аналогичным образом производилась количественная оценка произведенных организацией затрат на ИКТ-инновации. Однако, учитывая, что количество предложенных в анкете видов затрат было больше, чем в предыдущей шкале оценки, последняя была изменена (таблица 2)

Таблица 1 – Шкала оценки мнений респондентов об уровне разработки и внедрения ИКТ-инноваций в организации

Table 1 – Scale of assessment of respondents' opinions on the level of development and implementation of ICT innovations in the organization

Количество видов ИКТ-инноваций, отмеченных респондентами из предложенного (дополненного) перечня	0	1-2	3-4	5-7	8-9
Балл	1	2	3	4	5

Источник: составлено автором.

Таблица 2 – Шкала оценки ответов респондентов на вопрос о затратах на разработку и внедрение ИКТ-инноваций в организации

Table 2 – Scale of assessment: respondents' responses to the question about the costs of developing and implementing ICT innovations in an organization

Количество видов затрат на ИКТ-инновации, отмеченных респондентами из предложенного (дополненного) перечня	0	1-3	4-6	7-9	10-11
Балл	1	2	3	4	5

Источник: составлено автором.

Значения субиндексов $ИКТ_{Б}$ и $ИКТ_{ИН}$ определяются аналогично рассмотренному выше способу, то есть делением полученного среднего значения оценок по всем респондентам и по всем показателям блока на максимальный балл – «5».

Результаты исследования

Разработанная в исследовании анкета и методика комплексной оценки уровня развития ИКТ в организации были апробированы в условиях ряда организаций легкой промышленности города Витебска с целью выявления сложившихся тенденций и определения первоочередных направлений развития.

Так, в организации, специализирующейся на выпуске швейных изделий, в анкетировании приняли участие 19 руководителей и специалистов, что составило более 90 % от их общей численности.

При оценке ИКТ бизнес-процессов (таблица 3) в основном наблюдаются средние значения выше 4. Однако следует обратить внимание на такой показатель как ответственность за автоматизацию бизнес-про-

цессов. Перевод ответов на данный вопрос анкеты в балльную оценку ожидался в виде целого числа: 1, 3 или 5. В нашем случае получилось 3,21, что свидетельствует о разном мнении экспертов, прежде всего в связи с тем, что наличие такого специалиста в организации в отдельных случаях отождествлялось с наличием специализированного подразделения.

В оценке инфраструктуры ИКТ (таблица 4) также есть показатели, которые предполагают получение среднего балла в виде целого числа. Это наличие локальной сети, использование облачных сервисов и введение ограничений на общий доступ в сеть. Только один из данных показателей оценен респондентами одинаково. По остальным наблюдаются разные ответы, что в итоге приводит к дробным числам.

Исходя из данных таблицы 5 видно, что оценки большинства навыков как специалистов, так и руководителей, имеют значения больше 4, при этом средние значения навыков руководителей больше, чем у специалистов.

Таблица 3 – Оценка ИКТ бизнес-процессов
Table 3 – Assessment of ICT business processes

Показатели	Среднее значение по всем респондентам
Оценка уровня системы управления отдельными бизнес-процессами в организации	
Производственный (услуги)	4,47
Продажи	4,42
Персонал	4,47
Закупки	4,21
Финансы	4,26
Среднее по предприятию	4,37
Оценка системы автоматизации бизнес-процессов в организации	
Производственный (услуги)	4,47
Продажи	4,42
Персонал	4,42
Закупки	4,26
Финансы	4,32
Среднее по предприятию	4,38
Ответственный за автоматизацию бизнес-процессов	3,21
Среднее значение по всем показателям блока	3,99
Субиндекс ИКТ _{БП}	$3,99/5 = 0,798$

Источник: составлено автором по результатам анкетного опроса.

Таблица 4 – Оценка инфраструктуры ИКТ
Table 4 – Assessment of the ICT infrastructure

Показатели	Среднее значение по всем респондентам
Наличие локальной сети	5,00
Использование облачных сервисов	4,47
Введение ограничения на общий доступ в сеть Интернет	1,05
Уровень компьютеризации в организации	3,89
Среднее значение по всем показателям блока	3,61
Субиндекс ИКТ _{ИС}	3,61/5 = 0,722

Источник: составлено автором по результатам анкетного опроса.

Таблица 5 – Оценка цифровых навыков специалистов и руководителей организации в области ИКТ
Table 5 – Assessment of digital skills of specialists and managers of the organization in the field of ICT

Показатели	Среднее значение по всем респондентам	
	Специалисты	Руководители
Навык использования Интернета и поисковых систем	4,74	4,84
Навык фильтрации цифровых данных, информации и цифрового контента	4,68	4,68
Навык воспроизведения цифрового контента	4,63	4,74
Навык копирования, перемещения и сохранения цифровых данных, информации и цифрового контента	4,63	4,79
Навык использования цифровых данных, информации и цифрового контента для профессионального развития	4,53	4,63
Навык использования электронной почты, мессенджеров, социальных сетей	4,63	4,79
Навык использования онлайн-сервисов для профессиональной деятельности	4,42	4,63
Навык создания и редактирования, форматирования текстов	4,74	4,79
Навык визуализации аналитического материала	4,00	4,21
Навык выявления технических проблем при эксплуатации цифровых устройств	3,26	3,47
Навык устранения технических проблем при эксплуатации цифровых устройств	3,11	3,37
Навык выявления проблем работы программного обеспечения	3,26	3,42
Навык устранения проблем работы программного обеспечения	3,26	3,32
Навык отбора оптимального программного обеспечения для решения конкретных профессиональных задач; навык работы с технологией «искусственный интеллект»	2,79	2,89
Навык работы с технологией «Большие данные»	2,95	3,00
Среднее значение по всем показателям блока	3,98	4,11
	4,04	
Субиндекс ИКТ _Н	4,04/5 = 0,808	

Источник: составлено автором по результатам анкетного опроса.

Наиболее высокую среднюю оценку получили навыки: использования Интернета и поисковых систем, создания, редактирования и форматирования текстов. Наиболее низкая средняя оценка отмечается по навыкам: отбора оптимального программного обеспечения для решения конкретных профессиональных задач, работы с технологией «искусственный интеллект», «Большие данные», выявления и устранения технических проблем при эксплуатации цифровых устройств, выявления и устранения проблем работы программного обеспечения.

Общая средняя самооценка цифровых навыков руководителей и специалистов организации оказалась достаточно высокой – 4,04, что позволило, в свою оче-

редь, получить достаточно высокое значение субиндекса $ИКТ_Н$ равное 0,808.

Средние значения баллов при оценке информационной безопасности (таблица 6) получаются значительно ниже, чем при оценке других составляющих уровня развития ИКТ в организации. Следовательно в организации ещё не отработана политика информационной безопасности, в результате чего последняя не носит комплексный характер.

При оценке ИКТ-инноваций (таблица 7) получены самые низкие средние баллы, что позволяет предположить, что данное направление развития ИКТ в организации находится на ранней стадии.

Таблица 6 – Оценка информационной безопасности в организации

Table 6 – Assessment of information security in an organization

Показатели	Среднее значение по всем респондентам
Наличие системы информационной безопасности	2,79
Проведение контроля (аудита) системы информационной безопасности в организации	2,95
Осуществление мер для повышения качества системы информационной безопасности организации	3,79
Ответственный за информационную безопасность	3,21
Проведение обучения персонала информационной безопасности	2,68
Среднее значение по всем показателям блока	3,08
Субиндекс $ИКТ_Б$	$3,08/5 = 0,616$

Источник: составлено автором по результатам анкетного опроса.

Таблица 7 – Оценка ИКТ-инноваций

Table 7 – Assessment of ICT innovations

Показатели	Среднее значение по всем респондентам
Продуктовые ИКТ-инновации, разработанные и (или) внедренные в организации	2,32
ИКТ-инновации внедренные в бизнес-процессы организации	2,58
Осуществление организацией затрат на ИКТ-инновации за последние три года	1,95
Среднее значение по всем показателям блока	2,28
Субиндекс $ИКТ_{ИН}$	$2,28/5 = 0,456$

Источник: составлено автором по результатам анкетного опроса.

По полученным в таблицах 3–7 значениям субиндексов рассчитан общий индекс по формуле 1.

$$ИКТ_{ОРГ} = 0,798 \cdot 0,40 + 0,722 \cdot 0,25 + 0,808 \cdot 0,10 + 0,616 \cdot 0,15 + 0,456 \cdot 0,10$$

$$ИКТ_{ОРГ} = 0,319 + 0,181 + 0,081 + 0,092 + 0,046 = 0,719$$

Аналогичные исследования были проведены в других организациях легкой промышленности города Витебска, которые с целью сохранения конфиденциальности обозначены в статье следующим образом:

– организация 1 специализируется на выпуске швейных изделий (детализированные результаты оценки приведены в таблицах 3–7);

– организация 2 относится к текстильным производствам;

– организации 3, 4 и 5 заняты производством обуви.

В таблице 8 приведены значения субиндексов, формирующих итоговое значение индекса развития ИКТ в организациях, и общие результаты оценки.

Таким образом, при максимальном значении индекса развития ИКТ в организации равным 1, итоговые оценки по объектам исследования получены примерно одинаковые в интервале от 0,7 до 0,8, что является

достаточно хорошим значением. Вместе с тем внутренняя структура этой оценки позволяет определить как сходства, так и различия процессов цифровизации отдельных организаций. Основными признаками сходства могут быть определены достаточно успешные направления деятельности организаций по формированию инфраструктуры ИКТ, разработке и внедрению цифровых технологий в основные бизнес-процессы. По остальным субиндексам наблюдаются значительные различия: например, организация 2 большое внимание уделяет обеспечению безопасности ИКТ и в то же время имеет самую низкую оценку по уровню ИКТ-инноваций. В противоположных направлениях развивается организация 5: активно внедряя ИКТ-инновации по сравнению со всеми другими объектами исследования, она имеет самый низкий уровень обеспечения информационной безопасности.

По-разному оценили респонденты и свои цифровые навыки, на которых остановимся более подробно. В таблице 9 приведены результаты этой оценки отдельно для руководителей и специалистов.

Как видим, среднюю оценку цифровых навыков 4 и выше получили только руководители организаций 1 и 3. Руководители организаций 4 и 5, а также специалисты организации 5 по мнению респондентов демонстрируют низкий уровень ИКТ-навыков.

Таблица 8 – Результаты оценки уровня развития информационно-коммуникационных технологий в исследуемых организациях

Table 8 – Assessment results of the development level of information and communication technologies in the organizations under research

Значения субиндексов	Организация 1	Организация 2	Организация 3	Организация 4	Организация 5
ИКТ в бизнес-процессах (ИКТ _{БП})	0,798	0,834	0,680	0,720	0,640
Инфраструктура ИКТ (ИКТ _{ИС})	0,722	0,860	0,960	0,780	0,960
Навыки в области ИКТ (ИКТ _Н)	0,808	0,720	0,780	0,620	0,580
Безопасность ИКТ (ИКТ _Б)	0,616	0,860	0,780	0,740	0,240
ИКТ-инновации (ИКТ _{ИН})	0,456	0,400	0,680	0,530	0,740
Итоговое значение индекса развития ИКТ в организации (ИКТ _{ОРГ})	0,719	0,789	0,775	0,709	0,700

Источник: составлено автором.

Таблица 9 – Оценка респондентами цифровых навыков руководителей (Р) и специалистов (С) исследуемых организаций*

Table 9 – Respondents' assessment of the digital skills of managers (M) and specialists (S) of the organizations under research*

Навыки	Среднее значение по организации							
	2		3		4		5	
	Р	С	Р	С	Р	С	Р	С
Использования Интернета и поисковых систем	4,6	4,4	5	5	4	5	4	4
Фильтрации цифровых данных, информации и цифрового контента	4	3,6	4,6	4	4	4	3	3
Воспроизведения цифрового контента	3,8	3,6	4,6	4,4	1	4	3	3
Копирования, перемещения и сохранения цифровых данных, информатизации и цифрового контента	4,4	4,2	4,8	4,4	3	4	3	3
Использования цифровых данных, информации и цифрового контента для профессионального развития	3,8	3,6	4,8	4,4	3	4	3	3
Использования электронной почты, мессенджеров, социальных сетей	4,8	4,6	5	5	4	4,5	5	5
Использования онлайн-сервисов для профессиональной деятельности	4	3,8	4,2	3,8	2	4	4	5
Создания и редактирования, форматирования текстов	4,2	4,2	4	4	4	4,5	3	3
Визуализации аналитического материала	4,4	3,8	4	3,6	3	3,5	3	3
Выявления технических проблем при эксплуатации цифровых устройств	3,4	3,2	2,8	2,5	1	3	4	4
Устранения технических проблем при эксплуатации цифровых устройств	3	2,8	3	2,8	1	2,5	2	2
Выявления проблем работы программного обеспечения	2,8	2,6	3	2,8	2	3	3	3
Устранения проблем работы программного обеспечения	2,8	2,6	3	2,8	2	1,5	1	1
Отбора оптимального программного обеспечения для решения конкретных профессиональных задач; работы с технологией «искусственный интеллект»	2,6	2,4	3,4	3	3	3,5	1	1
Работы с технологией «Большие данные»	2,6	2,4	3,4	2,6	2	3	1	1
Средняя оценка ИКТ-навыков	3,7	3,5	4,0	3,7	2,6	3,6	2,9	2,9

Источник: составлено автором.

Примечание: *информация по организации 1 приведена в таблице 5.

Несмотря на присущую субъективность получения данных с помощью анкетного опроса, обобщение полученной информации позволяет выделить наиболее слабые стороны в овладении ИКТ-навыками руководителей и специалистов исследуемых организаций. Прежде всего, это навыки работы с новыми технологиями, без которых немислим современный этап цифровой трансформации бизнеса: «Большие данные» и «Искусственный интеллект». Кроме этого наблюдается явный дефицит технических навыков при эксплуатации цифровых устройств, а также навыков выявления и устранения проблем в работе программного обеспечения.

Выводы

На современном этапе развития общества цифровые навыки персонала, внедрение ИКТ-инноваций и обеспечение информационной безопасности являются краеугольными камнями не только информационно-коммуникационного развития организации, но и обеспечения ее конкурентоспособности в условиях новой экономики. Бизнес, который уделяет должное внимание всем этим аспектам, имеет значительно больше шансов на успех и процветание в современной цифровой экономике.

Применение разработанной методики для оценки уровня развития ИКТ в организациях легкой промышленности города Витебска позволило определить проблемные места в развитии цифровых процессов организаций, которые требуют первоочередного внимания.

Прежде всего, это низкий уровень цифровых навыков персонала в выявлении и устранении технических проблем эксплуатации цифровых устройств, а также в работе с программным обеспечением, массивами больших данных, практике применения технологий искусственного интеллекта. Совершенствование навыков руководителей и специалистов, необходимых для внедрения цифровых процессов требует инвестирования в обучение сотрудников. На наш взгляд, для организаций легкой промышленности Витебского региона, имеющих статус базовых организаций для Витебского государственного технологического университета, большую роль может сыграть партнерство с университетом для постоянного повышения квалификации своих сотрудников. Внедрение непрерывного обучения, поощрение инициатив по самообразованию и профессиональному развитию, создание мотивационной системы в организации приведет к формированию у сотрудников новых навыков, которые в современных условиях функциони-

рования бизнеса немислимы без овладения информационно-коммуникационными технологиями.

Не менее значимым фактором развития ИКТ в отдельных организациях является формирование корпоративной политики информационной безопасности. Соответствие современным нормам ведения хозяйственной деятельности требует высокого уровня защиты данных, что в свою очередь не только укрепляет доверие партнеров, но и обеспечивает бесперебойное функционирование самого бизнеса. Направления деятельности организаций по повышению качества системы информационной безопасности могут рассматриваться в двух аспектах: организационном (определение перечня конфиденциальной информации, внесение в трудовые договоры условий ответственности за разглашение коммерческой тайны, обучение персонала правилам информационной безопасности и т. п.) и техническом (приобретение или разработку программного обеспечения для создания системы информационной безопасности, постоянное обновление имеющегося программного обеспечения и др.).

Анализ мнений респондентов относительно ИКТ-инноваций показывает, что этот блок показателей по большинству объектов исследования получил минимальную оценку. При этом, как правило, респонденты отмечают в качестве ИКТ-инноваций их продуктивную составляющую: приобретение или разработку компьютерного программного обеспечения общего характера, реже речь идет о программном обеспечении специального назначения. И только по одному объекту исследования отмечаются действия по активному внедрению ИКТ-инноваций в бизнес-процессы:

- внедрению автоматизированной системы качества;
- установке нового автоматизированного оборудования на производственной линии;
- использованию нового программного обеспечения в технологическом процессе;
- использованию нового программного обеспечения в менеджменте.

Осознавая необходимость внедрения ИКТ-инноваций, руководители организации в большинстве случаев сталкиваются с проблемой серьезных денежных вложений на такие инновации. Это подчеркивает и исследование, проведенное авторами (Касаева Т.В. и Конюшко Е.С., 2025) по анализу факторов, сдерживающих процессы цифровизации в различных отраслях экономики Витебского региона. Промышленные организации, а к их чис-

лу относятся и объекты данного исследования, финансовые проблемы отмечают как второй по значимости фактор-препятствие процессам цифровизации. Однако необходимо принимать во внимание взаимосвязь этих двух проблем: с одной стороны, многие организации легкой промышленности испытывают серьезные финансовые затруднения; но с другой стороны, цифровизация бизнеса и ИКТ-инновации – это такое конкурентное

преимущество, которое может стать важным резервом улучшения финансовых результатов.

Таким образом, проведенное исследование доказывает возможность применения разработанных методических инструментов для формирования корпоративной политики цифрового развития субъектов национальной экономики.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Бабкин, А.В. и Пестова, А.Ю. (2019). Показатели для оценки уровня цифровизации промышленного предприятия. *Актуальные проблемы развития хозяйствующих субъектов, территорий и систем регионального и муниципального управления. Материалы XIV международной научно-практической конференции*. С. 38–41.

Ватутина, Л.А., Злобина, Е.Ю. и Хоменко, Е.Б. (2021). Цифровизация и цифровая трансформация бизнеса: современные вызовы и тенденции. *Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право»*, № 4. С. 545–551.

Гилева, Т.А. (2019). Цифровая зрелость предприятия: методы оценки и управления. *Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика*, № 1 (27). С. 38–52. DOI: 10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52.

Головенчик, Г.Г. (2023). Разработка методики оценки эффективности цифровой трансформации предприятия и отрасли в Республике Беларусь. *Белорусский экономический журнал*. № 1, С. 93–103. DOI: 10.46782/1818-4510-2023-1-93-103.

Долганова, О.И. и Деева, Е.А. (2019). Готовность компании к цифровым преобразованиям: проблемы и диагностика. *Бизнес-информатика*, том 13, № 2, С. 59–72. DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.59.72.

Долженко, Р.А. и Малышев, Д.С. (2022). Проблемы на пути цифровой трансформации на российских промышленных предприятиях. *Вестник НГУЭУ*, № 1, С. 31–51. DOI: 10.34020/2073-6495-2022-1-031-051.

Ивашко, В.М. и Романова, Е.С. (2023). Методический подход к оценке цифровой зрелости предприятия. *Вестник связи*, № 4, С. 45–50.

Касаева, Т.В. и Полушина, А.А. (2023). Индекс развития ИКТ в оценке уровня цифровизации организации. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (45), С. 95–99. DOI:10.24412/2079-7958-2023-2-95-108.

Касаева, Т.В. и Конюшко, Е.С. (2025). Анализ факторов, препятствующих развитию цифровых процессов в организациях. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2(52), С. 176–181. DOI:10.24412/2079-7958-2025-2-176-190.

Климченя, Л.С. (2024). Методика оценки готовности организации к цифровой трансформации. *Бизнес. Инновации. Экономика: сборник научных статей*. Вып. 10, С. 92–100.

Кулагина, Н.А., Лысенко, А.Н. и Мугутдинов, Р.М. (2021). Экспресс-оценка факторов цифрового развития для управления конкурентоспособностью промышленных предприятий. *Экономические науки*, № 203, С. 131–134.

Куприянова, М.В. и Симилова, И.П. (2019). Методологические подходы к оценке уровня цифровизации промышленного производства: сборник трудов конференции. *Право, экономика и управление: актуальные вопросы: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*, С. 28–34.

Мерзлов, И.Ю., Шилова, Е.В., Санникова, Е.А. и Сединин, М.А. (2020). Комплексная методика оценки уровня цифровизации организаций. *Экономика, предпринимательство и право*, Том 10, № 9, С. 2379–2396. doi: 10.18334/errp.10.9.110856.

Чурсин, А.А. и Кокуйцева, Т.В. (2022). Развитие методов оценки цифровой зрелости организации с учетом регионального аспекта. *Экономика региона*. Т 18, вып. 2. С. 450–463. <https://doi.org/10.17059/ekon. reg.2022-2-11>.

Юрак, В.В., Полянская, И.Г. и Малышев, А.Н. (2023). Оценка уровня цифровизации и цифровой трансформации нефтегазовой отрасли РФ. *Горные науки и технологии*. Том 8, № 1, С. 87–110. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-08-16>.

REFERENCES

Babkin, A.V. and Pestova, A.Y. (2019). Indicators for assessing the level of digitalization of an industrial enterprise [Pokazateli dlya ocenki urovnya cifrovizatsii promyshlennogo predpriyatiya]. *Aktual'nyye problemy razvitiya khozyaystvuyushchikh sub"yektov, territoriy i sistem regional'nogo i munitsipal'nogo upravleniya = Actual problems of development of economic entities, territories and systems of regional and municipal management. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference*. pp. 38–41 (In Russian).

Vatutina, L.A., Zlobina, E.Yu. and Khomenko, E.B. (2021). Digitalization and digital transformation of business: modern challenges and trends [Cifrovizatsiya i cifrovaya transformatsiya biznesa: sovremennyye vyzovy i tendentsii]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya «Economika i pravo» = Bulletin of the Udmurt University. Series "Economics and law"*, No 4, pp. 545–551 (In Russian).

Gileva, T.A. (2019). Digital maturity of the enterprise: methods of assessment and management [Cifrovaya zrelost' predpriyatiya: metody ocenki i upravleniya]. *Vestnik UGNTU. Nauka, obrazovaniye, ekonomika. Seriya: Ekonomika = Bulletin USPTU. Science, education, economy. Series economy*. № 1 (27), pp. 38–52. DOI: 10.17122/2541-8904-2019-1-27-38-52 (In Russian).

Goloventchik, G. (2023). Development of a method for assessing the efficiency of the digital transformation of an enterprise and industry in the Republic of Belarus [Razrabotka metodiki ocenki effektivnosti cifrovoj transformatsii predpriyatiya i otrasli v Respublike Belarus']. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal = Belarusian Economic Journal*. No 1, pp. 93–103 (In Russian). 10.46782/1818-4510-2023-1-93-103.

Dolganova, O.I. and Deeva, E.A. (2019). Company readiness for digital transformations: problems and diagnosis [Gotovnost' kompanii k cifrovym preobrazovaniyam: problemy i diagnostika]. *Biznes-informatika = Business informatics*, vol. 13, No 2, pp. 59–72 (In Russian). DOI: 10.17323/1998-0663.2019.2.59.72.

Dolzhenko, R.A. and Malyshev, D.S. (2022). Problems on the way of digital transformation at Russian industrial enterprises [Problemy na puti cifrovoj transformatsii na rossijskikh promyshlennykh predpriyatiyah]. *Vestnik NGUEU = Bulletin of NSUEM*, No 1, pp. 31–51 (In Russian). DOI: 10.34020/2073-6495-2022-1-031-051.

Ivashko, V.M., Romanova, E.S. (2023). Methodological approach to assessing the digital maturity of an enterprise [Metodicheskij podhod k ocenke cifrovoj zrelosti predpriyatiya]. *Vestnik svyazi = Communications Bulletin*, No 4, pp. 45–50 (In Russian).

Kasayeva, T.V. and Polushina, A.A. (2023). The ICT development index in assessing the level of digitalization in an organization [Indeks razvitiya IKT v ocenke urovnya cifrovizatsii organizatsii]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, No 2 (45), pp. 95–99 (In Russian). DOI:10.24412/2079-7958-2023-2-95-108.

Kasayeva, T.V. and Koniushka, Ya.S. (2025). Analysis of factors hindering the development of digital processes in organizations [Analiz faktorov, prep'yatstvuyushchih razvitiyu cifrovyyh processov v organizatsiyah]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, No 2 (52), pp. 176–181 (In Russian). DOI:10.24412/2079-7958-2025-2-176-190.

Klimchenya, L.S. (2024). Methodology for assessing an organization's readiness for digital transformation [Metodika ocenki gotovnosti organizatsii k cifrovoj transformatsii]. *Biznes. Innovatsii. Ekonomika = Business. Innovations. Economics: collection of scientific articles*. Issue 10, pp. 92–100 (In Russian).

Kulagina, N.A., Lysenko, A.N. and Mugutdinov, R.M. (2021). Express assessment of digital development factors for managing the competitiveness of industrial enterprises [Ekspress-ocenka faktorov cifrovogo razvitiya dlya upravleniya konkurentosposobnost'yu promyshlennykh predpriyatij]. *Ekonomicheskiye nauki = Economic sciences*, No 203, pp. 131–134 (In Russian).

Kupriyanova, M.V. and Simikova, I.P. (2019). Methodological approaches to assessing the level of digitalization of industrial production: conference proceedings [Metodologicheskie podhody k ocenke urovnya cifrovizacii promyshlennogo proizvodstva: sbornik trudov konferencii]. *Pravo, ekonomika i upravleniye: aktual'nyye voprosy: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem = Law, economics and management: topical issues: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation*, pp. 28–34 (In Russian).

Merzlov, I.Yu., Shilova, E.V., Sannikova, E.A. and Sedinin, M.A. (2020). Comprehensive methodology for assessing the level of digitalization in the organizations [Kompleksnaya metodika ocenki urovnya cifrovizacii organizacij]. *Ekonomika, predprinimatelstvo i pravo = Economics, Entrepreneurship and Law*, Vol. 10, No 9, pp. 2379–2396 (In Russian). doi: 10.18334/epp.10.9.110856.

Chursin, A.A. and Kokuytseva, T.V. (2022). Development of Methods for Assessing the Digital Maturity of Organisations Considering the Regional Aspect [Razvitie metodov ocenki cifrovoj zrelosti organizacii s uchetom regional'nogo aspekta]. *Ekonomika regiona = Economy of regions*, Vol.18, No 1, pp. 450–463 (In Russian). <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2022-1-11>.

Yurak, V.V., Polyanskaya, I.G. and Malyshev, A.N. (2023). The assessment of the level of digitalization and digital transformation of oil and gas industry of the Russian Federation [Ocenka urovnya cifrovizacii i cifrovoj transformacii neftegazovoj otrasli RF]. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology*. Vol. 8, No 1, pp. 87–110 (in Russia) <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-08-16/>.

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

Tamara V. Kasayeva

Candidate of Science (in Engineering), Associate Professor of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: KasaevaTV@mail.ru

Экономическое и инфраструктурное преобразование Амурской области в контексте трансграничной кооперации с Китаем

А. Д. Жуковский,
М. С. Клокель

*Финансовый университет при правительстве Российской Федерации,
Российская Федерация*

Аннотация. В данной научной статье проведена оценка ключевых факторов, влияющих на социально-экономическое развитие Амурской области. Актуальность исследования состоит в том, что хозяйственные связи между странами претерпевают глобальную трансформацию. Более того, на фоне усиления санкционного давления Россия находится в поиске новых возможностей на Востоке. Приграничные территории, включая Амурскую область, играют ключевую роль в построении долгосрочных экономических отношений с Азиатскими странами. Целью исследования является анализ значимости кластеров в различных отраслях промышленности и креативной индустрии, транспортно-логистической инфраструктуры и международного сотрудничества с Китаем для экономики области, как ключевых драйверов, а также определение приоритетных направлений экономического развития в ближайшем будущем. Задачами исследования является оценка государственной поддержки по вопросам стимулирования предпринимательства и формирования благоприятного инвестиционного климата, рассмотрение реализованных кластерных проектов и тех, что находятся на стадиях разработки, определение важности Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей для эффективного ведения торговли между регионами России и странами Азии, а также выявление перспектив сотрудничества с Китаем. В ходе исследования авторами были использованы данные Росстата, официальных источников правительства Амурской области, Корпорации Развития Дальнего Востока и Арктики, Центра Агроаналитики, различных официальных СМИ, а также рассмотрены научные публикации зарубежных и отечественных авторов по данной теме. Результаты анализа показали, что Амурская область претерпевает значительные изменения в своей спецификации, трансформируясь из крупного логистического центра в развитый, многоотраслевой регион. Создание промышленных кластеров не только позволит снабдить сырьём отечественные предприятия, но и в перспективе увеличит экспортный потенциал России с возможностью создания совместных предприятий с Китайской Народной Республикой. Сделан вывод о том, что строительство кластеров, модернизация железнодорожных путей сообщения, а также международная кооперация – основные драйверы экономического развития Амурской области.

Ключевые слова: Китай, Амурская область, промышленные кластеры, креативные кластеры, космодром «Восточный», Транссиб, Байкало-Амурская магистраль, совместные предприятия.

Информация о статье: поступила 8 июля 2025 года.

Economic and infrastructural transformation of the Amur region in the context of cross-border cooperation with China

Andrey D. Zhukovskii,
Maria S. Klokkel

*Financial University under the Government of the Russian Federation,
Russian Federation*

Abstract. This scientific article assesses the key factors influencing the socio-economic development of the Amur Region. The relevance of the study is that economic ties between countries are undergoing a global transformation. Moreover, against the backdrop of increasing sanctions pressure, Russia is looking for new opportunities in the East. Border territories, including the Amur Region, play a key role in building long-term economic relations with Asian countries. The aim of the study is to analyze the importance of clusters in various industries and the creative industry, transport and logistics infrastructure and international cooperation with China for the region's economy. The objectives of the study are to assess government support for stimulating entrepreneurship and creating a favorable investment climate, review implemented cluster projects and those at the development stages, determine the importance of the Trans-Siberian and Baikal-Amur Mainlines for

effective trade between Russian regions and Asian countries, and identify prospects for cooperation with China. In the course of the study, the authors used data from Rosstat, official sources of the Amur Region government, the Far East and Arctic Development Corporation, the mass media, and also studied various scientific publications. The results of the analysis showed that the Amur Region is undergoing significant changes in its specification, transforming from a large logistics center into a developed, multi-industry region. The creation of industrial clusters will not only provide domestic enterprises with raw materials, but will also increase Russia's export potential in the long term with the possibility of creating joint ventures with the People's Republic of China. It is concluded that the harmonious interaction of three main areas – cluster construction, modernization of railway lines, and international cooperation – are the main drivers of economic development in the Amur Region.

Keywords: China, Amur Region, industrial clusters, creative clusters, Vostochny Cosmodrome, Trans-Siberian Railway, Baikal-Amur Mainline, joint ventures.

Article info: received July 8, 2025.

Введение

Вопрос о развитии проблемных территорий, в особенности приграничных, поднимается учеными уже многие десятилетия и является одним из приоритетных направлений региональной экономики не только в России, но и за рубежом. Об этом свидетельствуют большое количество исследований представителей различных научных школ со всего мира. Среди фундаменталистов анализа темы развития приграничных территорий важно упомянуть труды Х. Гирша, Х. Зиберта, В. Кристаллера, П. Кругмана, А. Леша и др. Из отечественных ученых следует назвать Е.Г. Анимицу, В.С. Антонюк, С.С. Артоболевского, П.Я. Бакланова, Н.П. Рыжову, В.В. Лазарева, В.Н. Дьяченко и др. [Лазарева, Дьяченко и Власова, 2022].

Из последних актуальных тем среди научного общества – идея кластеров, как ключевого драйвера индустриального развития территорий. Она поднимается в научных трудах многих зарубежных учёных [Hernández, Guardado and Gálvez, 2022; McKernan and McDermott, 2024; You et al., 2025; Zhang and Chen, 2025]. Российские учёные продолжают искать пути для ускоренного социально-экономического развития регионов Дальнего Востока и описывают возможности и точки роста в своих исследованиях [Забелина и Парфенова, 2021]. Также наиболее актуальной темой является международное сотрудничество со странами Азии, включая Китай [Лехельт и Праскова, 2023; Изотов, 2022; Крюкова, Бобков и Колбас, 2022].

Необходимость проведения данного исследования состоит в том, что после 2022 года произошла переориентация внешнеполитического и внешнеэкономического курса России в восточном направлении и небывалое укрепление российско-китайских отношений.

В сложившейся ситуации приграничные территории, включая Амурская область, становятся важнейшими платформами для продвижения национальных интересов и экспериментального внедрения инновационных схем экономического сотрудничества. Исключительная особенность географического положения Амурской области, её территориальная близость к активно развивающейся провинции Хэйлунцзян, реализация масштабных международных проектов, таких как трансграничный мост Благовещенск-Хэйхэ, газопровод «Сила Сибири» и Амурский ГПЗ становятся кардинально новыми предпосылками для её экономического роста. Тем не менее, несмотря на то, что эти процессы открывают широкие перспективы для структурной перестройки производственной специфики региона и обещают увеличение рабочих мест, потенциально усиливается зависимость от сырьевого сектора, а также есть вероятность диспропорции в экономических отношениях. В данной научной статье предпринята попытка систематизировать и углубить уже имеющуюся научную базу об особенностях развития приграничных территорий, в особенности Амурской области, а также оценить уровень её потенциала и сформулировать стратегические направления экономического развития региона в условиях укрепления международных отношений с Китаем.

Через территорию Амурской области проходят железнодорожные магистрали: Транссибирская (Транссиб) и Байкало-Амурская (БАМ), которые связывают регионы России с рынками Северо-Восточных Азиатских стран. Последние годы в области ведётся активное строительство транспортной инфраструктуры, как было упомянуто выше, функционирует автомобильный мост через реку Амур, соединяющий Благовещенск и китайский

город Хэйхэ. В данный момент продолжается строительство уникальной трансграничной подвесной дороги. В Амурской области создаётся благоприятный инвестиционный климат для развития бизнеса: в 2025 году из государственного бюджета выделено 1,6 млрд рублей на субсидирование и гранты по различным направлениям от агропромышленного комплекса, туризма и до ИТ-технологий¹. За последние несколько лет Амурская область достигла рекордных показателей по объёмам инвестиций в основной капитал и заняла первое место среди регионов Дальнего-Востока по этому показателю. В 2023 году в экономику Амурской области было привлечено более 750 млрд рублей, что составило четвертую часть от всех инвестиций в Дальний Восток². Как можно заметить, несмотря на санкционные условия развития экономики, в Амурской области активно реализуются инвестиционные проекты федерального уровня, включая модернизацию и строительство заводов промышленных кластеров, а также создание современных креативных кластеров. Также летом 2025 года планируется старт ракеты-носителя «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат» с космодрома «Восточный», предусматривается вывести новые спутники «Ионосфера-М». Также в 2025 году с Восточного должна стартовать ракета-носитель «Союз-2.1б» с разгонным блоком «Фрегат»³.

Материалы и методы

Информационную основу исследования составили базы данных государственных корпораций, таких как Корпорация Дальнего Востока и Арктики, ОАО «РЖД», федеральной службы государственной статистики, официальные, нормативно-правовые акты Правительства России, СМИ, а также научные работы других учёных. В процессе изучения материалов, были использованы следующие научные методы: анализ, синтез и системный подход.

¹ Региональные меры поддержки // Мой бизнес. Амурская область. URL: <https://business.amurobl.ru/regionalmeasures#agro> (дата обращения: 30.05.2025).

² Василий Орлов: «Амурская область поставила новый исторический рекорд по привлеченным инвестициям» // Инвестиционный портал Амурской области. URL: <https://invest.amurobl.ru/media/news/vasilij-orlov-amurskaya-oblast-postavila-novyy-istoricheskiy-rekord-po-privlechennym-investitsiyam/> (дата обращения: 03.06.2025).

³ Путин упростил комиссию по вопросам строительства космодрома Восточный // Фонтанка.ру. URL: <https://www.fontanka.ru/2025/06/06/75560732/> (дата обращения: 03.06.2025).

Результаты исследования

Промышленные кластеры

За многолетнее своё существование кластеры зарекомендовали себя в наибольшей степени эффективным способом взаимодействия предприятий, стимулируя формирование вертикальных и горизонтальных связей в производственной цепочке создания стоимости (Кашина и Сорокин, 2012). Кластерный подход позволяет объединить несколько компаний вместе, что упрощает взаимодействие, сокращает операционные расходы. Важно, что предприятия не конкурируют между собой, а работают как единый организм (Череповская, 2024). Региональные экономики значительно выигрывают от существования промышленных кластеров, которые стимулируют конкурентоспособность. Концентрация ресурсов и экспертизы в рамках кластеров оказывает существенное влияние: в Европе они обеспечивают 39 % занятости и генерируют 55 % фонда оплаты труда (Hernández, Guardado and Gálvez, 2022). Более того, кластеры, как форма совместного функционирования нескольких компаний, дают возможность для исследований и генерации знаний в таких областях науки, как инженерия, экология, бизнес, менеджмент и бухгалтерский учет, информатика, науки о Земле, социология и др. (McKernan and McDermott, 2024)

Понятие кластера в российской правовой системе закрепилось в 2014 году «Федеральным законом от 31 декабря 2014 года № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации»⁴, хотя деятельность по развитию кластеров ведётся с 2008 года.

Предпосылками для формирования кластера в горно-металлургическом комплексе можно назвать наличие богатой сырьевой базы: различных руд, золота и угля, обеспеченность региона высококвалифицированными трудовыми ресурсами, наличие потенциального крупного покупателя в лице Китая. Особенный интерес для экономики и бизнеса в последние годы представляют титаномагнетитовые руды, из которых получают железный концентрат. В 2023 году на ежегодном Российско-Китайском экономическом форуме было подписано соглашение между Корпорацией развития Дальнего Востока и Арктики (КРДВ) и АО «Байкало-Амурской горнорудной корпорацией» (АО «БАГК»). Создание кла-

⁴ Закон Российской Федерации «Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014 № 488-ФЗ» // Собрание законодательства Российской Федерации. – 2014.

стера не только позволит увеличить экспорт продукции в Китай, но и обеспечит саму Россию отечественным сырьём.

Региональное Агентство по привлечению инвестиций продолжает активно работать с компаниями горнодобывающей и перерабатывающей промышленности.

Также одной из не менее важных направлений развития производства можно назвать газоперерабатывающую промышленность. Началом формирования газохимического кластера в регионе можно назвать строительство Амурского ГПЗ в 2015 году при поддержке Минвостокразвития РФ и Федерального и регионального Агентства по привлечению инвестиций. Сейчас Амурский ГПЗ является одним из ведущих предприятий в мире по переработке природного газа. Строительство данного предприятия внесло значительный вклад в упрощение цепочек поставок природного газа в Китай.

Агропромышленные кластеры

Несмотря на то, что территория Амурской области относится к зоне рискованного земледелия, регион продолжает оставаться лидером по выращиванию сои. В России 2024 год в общем стал рекордным по выращиванию данной культуры, что в ближайшее время поз-

волит сократить импорт или даже отказаться от него⁵. В 2023 году к Территории Опережающего Развития (ТОР) присоединились 5 проектов по переработке сои, а агропромышленный кластер был определён как один из основных активно развивающихся в регионе. По итогам 2023–2024 года оборот внешней торговли Амурской области и КНР увеличился на 50 %, а экспорт амурской продукции АПК в Китай вырос на 70 %⁶. В 2025 году планируется открытие международного агропромышленного комплекса новым резидентом ООО «Дальагротерминал» при поддержке Корпорации развития Дальнего Востока и Арктики. Ожидается, что предприятие сможет перерабатывать более 660 тыс. т. сои в год и обеспечит рабочие места не менее 600 людям⁷.

⁵ Определены топ-10 регионов РФ по сбору подсолнечника, сои и рапса // ФГБУ «Центр Агроаналитики». URL: <https://specagro.ru/news/202501/opredeleny-top-10-regionov-rf-po-sboru-podsolnechnika-soi-i-rapsa?ysclid=mcidi2jy1kx377511219> (дата обращения: 15.06.2025).

⁶ Экспорт амурской сельхозпродукции в Китай вырос на 70 процентов // Амурская правда. URL: <https://ampravda.ru/2024/07/10/131474.html> (дата обращения: 25.10.2025).

⁷ В ТОР «Амурская» благодаря переработке сои формируется агропромышленный кластер // Амурская правда. URL: <https://ampravda.ru/2023/06/26/0122454.html> (дата обращения: 12.06.2025).

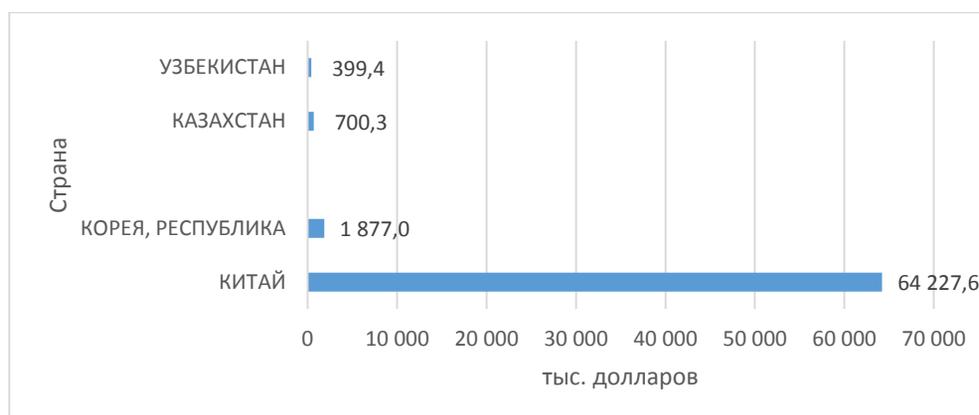


Диаграмма 1 – Экспорт соевых бобов не для посева из Амурской области по странам за 9 месяцев 2021 года, тыс. долл.

Chart 1 – Export of non-sowing soybeans from the Amur Region by country for the 9 months of 2021, in thousands of dollars

Источник: составлено авторами⁸.

⁸ Статистическая информация о внешней торговле за 9 месяцев 2021 года [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФТС России. Дальневосточное таможенное управление. Режим доступа: https://dvtu.customs.gov.ru/statistic/2021_god/document/318067. – Дата доступа: 13.09.2025.

Из данной диаграммы можно сделать вывод о том, что действительно Китай является основным импортером сои и продукции из неё.

Из перспективных направлений для формирования новых агропромышленных кластеров можно назвать мясо-молочное производство. Потребности населения в продукции отрасли животноводства довольно слабо удовлетворяются за счёт собственных ресурсов, однако, как показывают исследования, скот обладает высоким потенциалом и генетическими предрасположенностями для эффективного ведения хозяйства в данной сфере.

Креативные кластеры

Одним из насущных вопросов касательно экономического потенциала Амурской области является увеличение доли креативных индустрий в составе Валового Регионального продукта. В 2023 году доля деятельности в области культуры, спорта, организации досуга и развлечений составила всего 0,6 %⁹. В это же время в других регионах этот процент значительно выше и достигает 5 %. Креативные индустрии несут в себе всё больше потенциала и являются драйверами экономики, что побудило президента Российской Федерации поставить перед страной цель – увеличить долю креативной экономики к 2030 году до 6 % в составе ВВП. Реализовать цель планируется с помощью институтов развития, региональных властей, а также активного стимулирования предпринимательства. На данный момент в Амурской области не существует полностью функционирующего креативного кластера, однако есть предпосылки и точки роста, способные создать благоприятные условия для успешного развития отрасли. В данный момент идёт активная разработка и подготовка проекта по строительству современно креативного кластера на месте старых казарм в городе Благовещенске. На базе комплекса заработают продюсерские и образовательные центры, студия разработки игр и творческие объединения, коворкинги, лектории, зоны для отдыха, а также шоурумы локальных брендов одежды. Миссией кластера является объединение в одном пространстве всех творческих предпринимателей региона, расширение точек сотрудничества с Китаем, а также разработка и продвижение продуктов не только на отечественном рынке, но и на международном. В качестве основных

⁹ Валовой региональный продукт // Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Амурской области. URL: <https://28.rosstat.gov.ru/folder/136206> [дата обращения: 15.06.2025].

направлений работы были выбраны архитектура, дизайн, искусство, а также IT¹⁰.

Существуют уникальные черты региона, которые можно в перспективе использовать в творческих индустриях:

1. Географическая близость к Китаю даёт предпринимателям доступ к широкому рынку туристических услуг, которые в свою очередь тесно связаны с созданием продуктов креативной сферы: рекламных материалов, контента для социальных сетей, формирующих положительный имидж региона в глазах потенциальных туристов, сувенирной продукции с национальными мотивами. Также есть возможность проведения культурных фестивалей, гастрономических проектов, направленных на сближение народов двух дружественных стран.

2. Расположение космодрома «Восточный» на территории Амурской области является потенциальным источником для формирования уникального торгового предложения. Тема космоса может стать главной фишкой местных творцов в сфере дизайна, медиа-контента и т. д.

3. Этническая самобытность народов Амурского региона, богатая история и культура несут в себе возможности для возрождения традиционных видов ремесла и искусства. А также это может быть одним из элементов позиционирования региона.

Транспортная инфраструктура

Амурская область играет ключевую роль в логистической цепочке между Дальневосточным Федеральным Округом и другими регионами Российской Федерации. Особенно активно её роль начала возрастать в последние годы, за счет увеличения объёмов трансграничного грузооборота со странами Азии, в особенности с Китаем.

Амурская область является главным железнодорожным хабом, т. к. по её территории проходит Байкало-Амурская и Транссибирская железнодорожные магистрали, образующие вместе Восточный полигон железных дорог с выходом в морские порты Дальнего Востока [Волков, 2022]. Модернизация полигона идёт с 2013 года и направлена на увеличение пропускной способности железных дорог, улучшение процессы вза-

¹⁰ Кластер по развитию творческих индустрий построят в Благовещенске в рамках реализации городского мастер-плана // Корпорация развития Дальнего Востока и Арктики. URL: <https://erdc.ru/news/klaster-po-razvitiyu-tvorcheskikh-industriy-postroyat-v-blagoveshchenske-v-ramkakh-realizatsii-gorod/> [дата обращения: 15.06.2025].

имодействия всех отраслей промышленности (Тураева, 2023). В эксплуатации на территории Амурской области находится около 2920 км. А общая плотность железных дорог в 1,6 раз выше, чем в среднем по России.

В таблице 1 приводятся данные, отражающие транзитные возможности Амурской области в сопоставлении с российскими регионами, входящими в состав Дальневосточного федерального округа и имеющими общую границу с Китайской Народной Республикой. Амурская область выделяется среди субъектов ДФО самой большой протяженностью границы с КНР, а также является лидером по числу организованных пунктов пропуска, но по таким критериям, как плотность пунктов пропуска на километр границы и плотность функционирующих пунктов пропуска на километр границы, регион демонстрирует наименьшие значения.

Благодаря проведенным мероприятиям в ходе второго этапа реконструкции, возможности БАМа и Транссибирской магистрали по транспортировке грузов

были расширены. К завершению 2023 года пропускная способность достигла 173 миллионов тонн в год, что демонстрирует рост со 158 миллионов тонн в начале того же года. В апреле 2024 года был одобрен план о начале третьего этапа инвестиционного проекта, результатом которого станет продолжение модернизации железнодорожной инфраструктуры Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей с целью увеличения пропускного потенциала до 270 млн т к концу 2032 года.

Перспективы экономического сотрудничества Амурской области и КНР

Российские ученые отмечают, что стратегическое планирование в российских областях, находящихся вблизи границ, зачастую не учитывает в полной мере специфику и возможности, обусловленные их географическим положением. Обнаружено, что приграничные субъекты федерации в недостаточной степени задействуют преимущества своего расположения и имеющийся потенциал для стимулирования прогресса (Шиш-

Таблица 1 – Показатели транзитного потенциала субъектов ДФО, имеющих общую границу с Китаем, 2020
Table 1 – Indicators of the transit potential of the Far Eastern Federal District, the influence of external relations with China, 2020

Показатель	Амурская область	Хабаровский край	Приморский край	Забайкальский край	Еврейская АО
Густота железнодорожных путей общего пользования, километров на 10000 кв. км территории	81	27	95	56	141
Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием, километров на 1000 кв. км территории	34	12	91	34	67
Протяженность границы с КНР, км	1254	260	1031,5	1064	550
Количество пунктов пропуска (не включая воздушные и морские)	7	3	6	5	4
Плотность пунктов пропуска (не включая воздушные и морские)*, на 1 км границы	0,006	0,012	0,006	0,005	0,007
Количество действующих пунктов пропуска (не включая воздушные и морские)	3	2	5	4	2
Плотность действующих пунктов пропуска*, на 1 км границы	0,002	0,008	0,005	0,004	0,004

Источник: [Лазарева, Дьяченко и Власова, 2022].

Примечание: *URL: <https://erdc.ru/news/klaster-po-razvitiyu-tvorcheskikh-industriy-postroyat-v-blagoveshchenske-v-ramkakh-realizatsii-gorod/> (дата обращения: 15.06.2025).

кин, 2015). Одним из таких преимуществ для Амурской области является укрепление международных отношений между Россией и Китаем на фоне санкционного давления со стороны недружественных государств.

В течение периода роста экономических отношений между Россией и Китаем, приграничная торговля претерпела существенную трансформацию. Из таблицы 2 видно, что в сравнении с другими субъектами Дальневосточного федерального округа, внешнеторговый оборот Амурской области с КНР играет ключевую роль для экономики данного региона, что отражается в повышенной доле китайского участия во внешней торговле.

За 9 месяцев 2021 года 57 стран-контрагентов осуществляли торговую деятельность с Амурской областью, что на 9 % ниже, чем за предыдущий отчетный период. Ниже представлена круговая диаграмма 2, иллюстрирующая доли основных торговых партнеров. Лидером по экспорту традиционно выступил Китай с долей в 45,9 %, что составило 234,1 млн долларов США.

Основными статьями экспорта в Китай выступили электроэнергия, соя и продукция из неё, что следует из диаграммы 3.

Амурская область импортировала у Китая товаров на 179,5 млн долларов, что составило больше половины от всего импорта региона.

Глобальная торговля выступает средством регулирования экономики, обеспечивающим оптимальное размещение ресурсов на мировой арене и в отдельных государствах. Российская Федерация активно использует этот механизм. Ключевым направлением в развитии экономического взаимодействия на текущий момент является Азиатские страны (Лехельт и Праскова, 2023). Безусловно, наибольший интерес представляет КНР, как одна из ведущих экономик мира.

Экономические структуры Китая и России взаимовыгодны и взаимодополняемы. Российская Федерация поставляет в Китай значительные объемы сырья, включая нефть и полезные ископаемые.

Таблица 2 – Удельный вес Китая во внешнеторговом обороте с субъектами ДФО, %

Table 2 – China's share in foreign trade turnover with the Far Eastern Federal District entities

Территория	2000	2005	2010	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
ДФО	20,3	22,9	26,5	26,0	24,5	24,2	28,4	28,2	33,8	35,5
Регионы, граничащие с КНР										
Приморский край	27,5	37,4	60,1	50,1	53,7	54,2	52,7	45,7	52,4	48,3
Хабаровский край	40,7	43,1	50,9	40,4	42,9	54,7	59,6	36,0	35,6	33,0
Амурская область	81,2	81,6	87,0	76,0	77,9	88,1	83,5	67,8	59,5	52,6
Еврейская АО	45,3	92,4	94,7	94,4	98,0	97,1	94,7	95,5	97,0	98,3
Забайкальский край							91,7	90,7	93,5	87,8
Регионы, не граничащие с КНР										
Магаданская область	2,4	6,8	7,8	4,2	6,7	8,3	7,8	13,3	10,0	5,0
Республика Бурятия							37,4	32,1	49,3	42,5
Сахалинская область	8,7	2,9	9,5	9,8	7,8	9,3	11,9	13,4	15,3	17,0
Чукотский АО	-	-	-	56,8	61,3	75,3	60,1	71,2	65,9	80,0
Республика Саха (Якутия)	0,4	1,2	1,0	10,2	8,7	6,4	9,0	13,6	11,5	27,5
Камчатский край	7,6	7,7	45,0	33,9	37,2	31,9	40,3	38,0	39,2	16,2

Источник: ¹¹

¹¹ Внешняя торговля субъектов РФ ДФО [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФТС России Дальневосточное таможенное управление. Режим доступа: <https://dvtu.customs.gov.ru/>. – Дата доступа: 13.09.2025

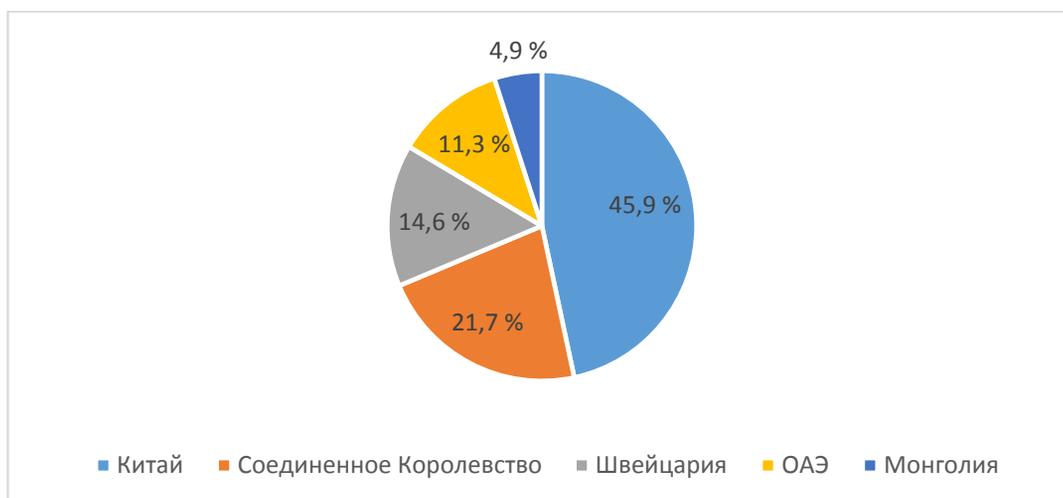


Диаграмма 2 – Удельный вес стран-контрагентов по экспорту за 9 месяцев 2021 года
 Chart 2 – Share of partner countries for exports for 9 months of 2021

Источник: ¹²

¹²Статистическая информация о внешней торговле за 9 месяцев 2021 года [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФТС России Дальневосточное таможенное управление. Режим доступа: https://dvtu.customs.gov.ru/statistic/2021_god/document/318067. – Дата доступа: 13.09.2025.

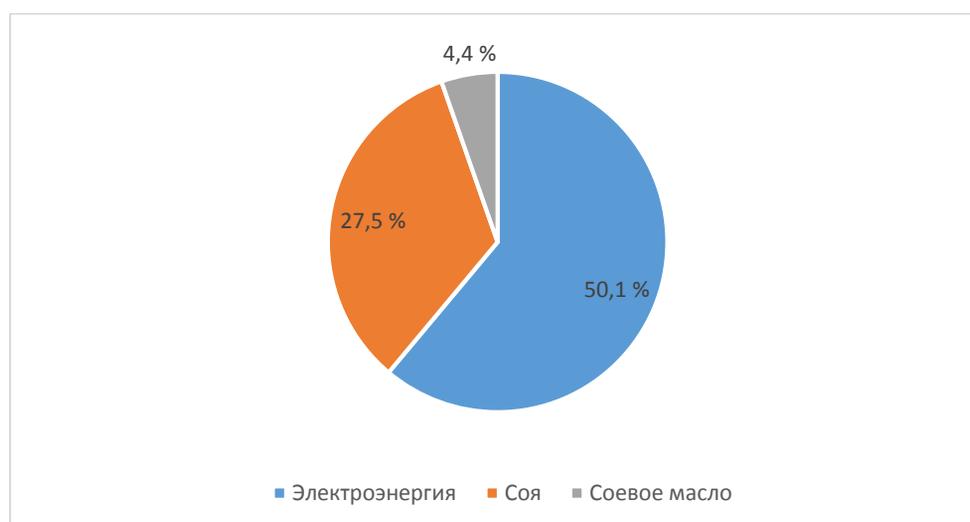


Диаграмма 3 – Основные статьи экспорта Амурской области в Китай, 2021
 Chart 3 – Main export items of the Amur region to China, 2021

Источник: составлено автором.

Одной из важнейших статей экспорта товаров продолжает оставаться нефть и нефтепродукты, а Китай – основной покупатель, что следует из диаграммы 4. Данную отрасль нельзя назвать новой, поскольку поставки нефти через нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) начались в 2011 году. Однако можно предположить, что создание совместных предприятий в сфере переработки нефти между Россией и Китаем могли бы значительно повысить эффективность процессов и снизить издержки.

Также тема совместных предприятий является актуальной и для деревообрабатывающей промышленности, поскольку она пользуется огромным спросом не только на отечественном рынке, но и на рынке Китая. Китай является главным импортером древесины, произведенной в Амурской области.

В свою очередь, Китай экспортирует в Россию широкий спектр продукции машиностроения и электротехники, в частности, автомобили. Сотрудничество между странами в этих секторах демонстрирует устойчивую

динамику развития и достигло качественно нового уровня. Перспективы взаимодействия между северо-восточными регионами Китая и Дальневосточным регионом России продолжают расти. Небольшая численность населения российского Дальнего Востока делает сотрудничество с Китаем важным фактором экономического развития и процветания этого региона. Китай и Россия активно взаимодействуют в рамках различных механизмов регионального экономического сотрудничества. Организации, такие как Азиатско-Тихоокеанское экономическое сотрудничество, играют важную роль в стимулировании региональной экономической интеграции.

Для социально-экономического развития Амурской области перспективным направлением является создание совместных предприятий с Китаем (Суслов, 2023). Китай идеально подходит для данного вида сотрудничества по следующим причинам:

1. По итогам 2022 года, товарооборот между Российской Федерацией и КНР превысил отметку в 190,27 миллиардов долларов США. Этот показатель демонстрирует

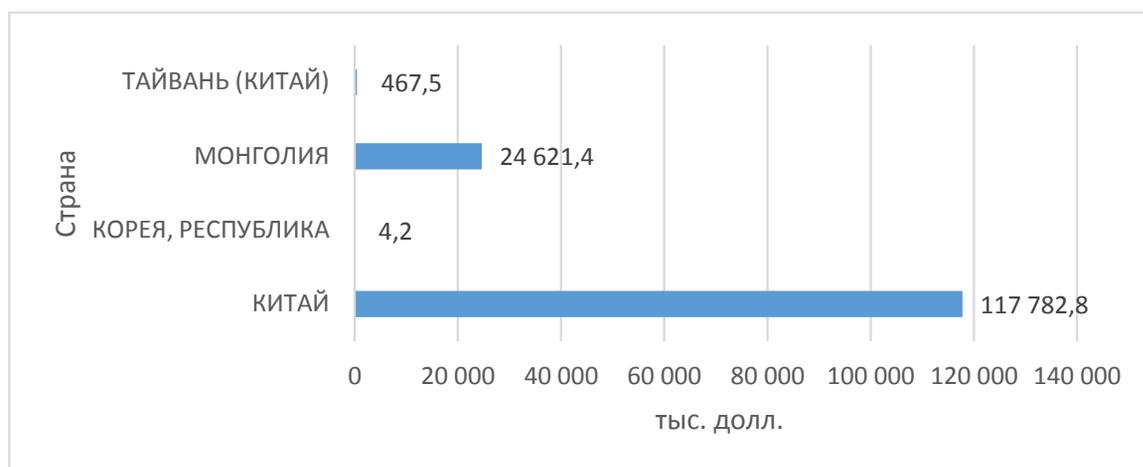


Диаграмма 4 – Топливо минеральное, нефть и продукты их перегонки; битуминозные вещества; воски минеральные, экспорт из Амурской области в Китай за 9 месяцев 2021 года
 Chart 4 – Mineral fuel, oil, and their distillates; bituminous substances; mineral waxes, exports from the Amur Region to China in the first nine months of 2021

Источник: составлено авторами¹⁵.

¹⁵ Статистическая информация о внешней торговле за 9 месяцев 2021 года [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФТС России Дальневосточное таможенное управление. Режим доступа: https://dvtu.customs.gov.ru/statistic/2021_god/document/318067. – Дата доступа: 13.09.2025.

Таблица 3 – Экспорт товаров из древесины из Амурской области в Китай за 9 месяцев 2021 года
Table 3 – Export of timber products from the Amur Region to China in the first 9 months of 2021

Наименование товара	Тыс. долл.
Древесина и изделия из нее; древесный уголь	14 336,1
Лесоматериалы необработанные из хвойных пород, кроме лесоматериалов 44031	8 631,5
Лесоматериалы необработанные из хвойных пород, кроме лесоматериалов 44031	1 495,3
Лесоматериалы необработанные из древесины лиственных пород, кроме лесоматериалов 440310 и 44034	7 136,2
Лесоматериалы необработанные из березы, кроме лесоматериалов 44031	4 804,7
Лесоматериалы необработанные из тополя и осины, кроме лесоматериалов 44031	2 331,4
Лесоматериалы, распиленные или расколотые вдоль...толщиной более 6 мм	5 306,6
Лесоматериалы, распиленные или расколотые вдоль...толщиной более 6 мм, хвойные	5 306,6
Всего	49 348,4

Источник: составлено авторами¹⁴.

¹⁴ Статистическая информация о внешней торговле за 9 месяцев 2021 года [Электронный ресурс] / Официальный сайт ФТС России Дальневосточное таможенное управление. Режим доступа: https://dvtu.customs.gov.ru/statistic/2021_god/document/318067. – Дата доступа: 13.09.2025.

существенную динамику роста, опережая результаты предыдущего года на 29,3 %.

2. Будучи мировым лидером в сфере производства, Китай способен дополнить развитую производственную базу и инфраструктуру России в определенных секторах. Организация совместных производств потенциально расширит экспортные горизонты как для одной, так и для другой стороны (Ван и Резанов, 2022).

3. На территории Амурской области расположены ГЭС, производящие дешёвую электроэнергию. Бурейская ГЭС является крупнейшей станцией на Дальнем Востоке и одной из крупнейших в России.

4. Создание совместных предприятий открывает перспективы для обеих стран в области повышения конкурентоспособности в технологическом секторе и стимулирования занятости населения. Кроме того, Китай сталкивается с острыми экологическими проблемами и дефицитом земельных ресурсов, в то время как Россия располагает обширными незанятыми территориями и благоприятной экологической обстановкой (Лехельт и Праскова, 2023).

5. Также реализация проектов, по улучшению инфраструктуры в регионе и строительству промышленных и креативных кластеров, поможет привлечь с переполненного китайского рынка труда высококвалифицированных специалистов в Амурскую область.

6. Территория опережающего развития Амурская создана для стимулирования предпринимательства, в том числе направленного на торговлю с Китаем, обладая выгодным транспортно-географическим положением и близостью к сырьевым базам Якутии и Забайкалья.

7. Из ближайших проектов, которые находятся в стадии разработки – это строительство международного терминала аэропорта, а также подвесной пассажирской дороги через реку Амур в городе Благовещенске.

8. В настоящее время особую значимость приобретает развитие производства станков всех видов, поскольку акцент делается на автоматизацию производственных процессов и электронной промышленности, например, компонентов для компьютеров и электронных микросхем (Лехельт и Праскова, 2023).

9. В настоящее время ведётся строительство ещё одного завода, входящего в кластер, Амурского газохимического комплекса, являющегося совместным проектом Сибура и Китайской нефтехимической корпорации (англ. China Petrochemical Corporation). Планируется, что Амурский ГХК станет крупнейшим мировым производителем полимеров и полиэтилена¹⁵. Данный проект может стать отличным началом для инициативы строительства новых совместных предприятий с Китаем, а также может простимулировать строительство промышленных кластеров и в других отраслях экономики.

10. На основе полученных данных можно сделать вывод о том, что продукция сельского хозяйства, в особенности соя, является неотъемлемой частью торговли между Амурской областью и Китаем, из чего следует потребность в создании совместных предприятий и в этой сфере для повышения эффективности взаимодействия обеих стран.

11. Креативные кластеры – это возможность показать китайским туристам русскую культуру и культуру местных народов в оригинальном, новом свете. Также кластеры могут стать ареной различных международных бизнес-мероприятий, которые будут привлекать не только туристов, но и предпринимателей, инвесторов.

12. Для стимулирования инвестиционного процесса и экономического роста экономики Амурской области необходимо создавать дополнительные преимущества размещения производств на территории региона. К ним относятся не только налоговые льготы, но и широкие возможности для привлечения иностранной рабочей силы за счёт особого географического положения города Благовещенска. Не так много регионов могут выделиться подобной чертой. В перспективе миграция сможет выглядеть не только как переезд на долгий срок, но и как, своего рода, международная маятниковая миграция с ежедневными поездками по маршруту Хэйхэ-Благовещенск. Использование китайской рабочей силы раскроет потенциал региона как места размещения новых производств (Лазарева, Дьяченко и Власова, 2022).

Заключение

Успешное социально-экономическое развитие Амурской области определяется в первую очередь взаимным дополнением трех ключевых факторов, таких как:

¹⁵ Амурский газохимический кластер объединит предпринимателей разного уровня // Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». URL: <https://cluster.hse.ru/news/346332122.html> [дата обращения: 05.06.2025].

модернизация транспортной инфраструктуры, создание мощных промышленных кластеров, а также стратегическое партнёрство с Китаем и другими странами Азиатского региона. Область продолжает заметно укреплять за собой статус ключевого железнодорожного узла на Дальнем Востоке. Транссибирская и Байкало-Амурская магистрали претерпевают масштабную модернизацию, благодаря которой повысится эффективность логистических перевозок внутри страны и за границу. Кластерное развитие в Амурской области наблюдается по двум направлениям: создание промышленных, агропромышленных и креативных объединений. Если первые и вторые для региона и России стали уже чем-то обыденным, то креативные кластеры находятся лишь на начальном этапе формирования. Строительство кластеров позволит значительно увеличить количество рабочих мест для населения, создать привлекательные условия труда с конкурентной оплатой труда и развитой местной инфраструктурой, уменьшить отток населения в другие регионы, а также привлечь специалистов из-за границы. Также креативные кластеры – это возможность для Амурской области уйти от сырьевой зависимости, создав высокотехнологичную отрасль экономики, в наименьшей степени зависящую от конъюнктуры цен на различное сырьё.

Сотрудничество с Китаем – это как системообразующий фактор для будущего становления экономики Амурской области. Исследование экспортной структуры региона показали, что именно Китай проявляет наибольший интерес к продукции Амурской области, что делает идею создания совместных предприятий целесообразной и релевантной. Потенциальные направления сотрудничества Амурской области и КНР можно разделить на три разных ветви:

1. Как в случае с Амурской НПЗ, Китай может стать источником финансирования новых проектов на территории региона, в частности, для промышленных кластеров в сфере металлургии.

2. Высокий спрос на сельскохозяйственную продукцию в Китае является стимулом для горизонтальной интеграции с Амурской областью, а именно для создания совместных перерабатывающих предприятий (например, по переработке сои) для повышения эффективности производственного процесса и сокращения издержек.

3. Можно также отметить высокий спрос Китая на продукцию деревообрабатывающей промышленно-

сти Амурской области. Это позволит при совместном производстве экономить на эффекте масштаба, более дешевом оборудовании, а также получать инвестиции от китайских бизнесменов.

4. Для креативных кластеров актуальным является развитие событийного и культурного туризма, кросс-культурного шоу-бизнеса, индустрии игр и дизайна, что позволит предпринимателям из обеих стран расширять свою целевую аудиторию, обмениваться опытом и увеличивать долю креативной индустрии в структуре экономик России и Китая.

Как итог, Амурская область переформируется из обычной транзитной территории в многопрофильный экономически значимый центр. Результаты данной научной статьи могут быть полезны в первую очередь, для государственных структур, в особенности для правительства Амурской области, для российских и зарубежных инвесторов и предпринимателей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ван, И., Резанов, Д.Е. (2022). Экономическое сотрудничество России и Китая в современных условиях. *Прогрессивная экономика*. № 10, с. 34–45. (https://doi.org/10.54861/27131211_2022_10_34).
- Волков, Г.Ю. (2022). Объективная необходимость использования альтернативных схем в международной торговле в условиях санкций (на примере теневого рынка танкерного тоннажа). *Финансовая экономика*. № 9, с. 164–167.
- Забелина, И.А., Парфенова, К.В. (2021). Механизмы ускоренного экономического роста регионов Дальнего Востока. *Социум и власть*. № 1 (87), с. 60–75. (<https://doi.org/10.22394/1996-0522-2021-1-60-75>).
- Изотов, Д.А. (2022). Торговля России со странами Восточной Азии: сравнительные издержки и потенциал. *Пространственная экономика*. Т 18, № 3, с. 17–41. (<https://dx.doi.org/10.14530/se.2022.3.017-041>).
- Кашина, Н.В., Сорокин, А.П. (2012). Кластерный подход в горно-металлургическом комплексе Амурской области. *Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета*. № 3 (63), с. 32–39.
- Крюкова, Е.М., Бобков, Н.Е. и Колбас, К.Ю. (2022). Кластерный подход в развитии внутреннего туризма в России. *Социальная политика и социология*. № 1 (142), с. 17–26. (<https://doi.org/10.17922/2071-3665-2022-21-1-17-26>).
- Лазарева, В.В., Дьяченко, В.Н. и Власова, Н.Ю. (2022). *Потенциал приграничного положения: практика использования и направления развития: монография*. ИНФРА-М. 222 с.
- Лехельт, Ю.О., Праскова, Ю.А. (2023). Отношения России и Китая на современном этапе. Материалы IV международной научно-практической конференции. Том Часть 2. с. 34–37. (https://doi.org/10.22250/9785934934027_34).
- Лехельт, Ю.О., Праскова, Ю.А. (2023). Современное состояние и перспективы создания совместных предприятий (На примере Амурской области). *Материалы Международного научно-исследовательского конкурса*. с. 95–97.
- Сулов, Д.В. (2023). Форум аналитических центров экономического взаимодействия между КНР и РФ. *Пространственная экономика*. Т 19, № 3, с. 188–190. (<https://dx.doi.org/10.14530/se.2023.3.188-190>).
- Тураева, М.О. (2023). Грузовой транспорт России: некоторые итоги 2022 года. *Вестник института экономики Российской Академии Наук*. № 3, с. 45–63. (https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_3_45_63).
- Череповская, Н.А. (2024). Кластерный подход как инструмент стратегического пространственного развития России. *Проблемы теории и практики управления*. № 9, с. 18–28.

- Шишкин, А.А. (2015). Стратегическое планирование в приграничных регионах. *Экономика и управление*. № 5 (115). С. 28–33.
- Hernández, I.S.J., Guardado, R.Tr. and Gálvez, Cl.E.S. (2022). Industrial clusters: A scientific review mapping. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*. Vol. 2, No. 2. [<https://doi.org/10.47909/ijsmc.143>].
- McKernan, D. and McDermott, O. (2024). Industrial clusters, creating a strategy for continued success. *Heliyon*. Vol. 10, No. 7. [<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29220>].
- You, Sh., Wang, L., Zhou, K. Zh. and Jia, L. (2025). Structural holes and firm innovation in industrial clusters: A dual embeddedness perspective. *Journal of Business Research*. Vol. 197. [<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2025.115452>].
- Zhang, Y. and Chen, K. (2025). The role of access to expressways on industrial clustering development in China. *China Economic Review*. Vol. 93. [<https://doi.org/10.1016/j.chieco.2025.102460>].

REFERENCES

- Wang, I., Rezanov, D.E. (2022). Economic cooperation of China and Russia in modern conditions [Ekonomicheskoe sotrudnichestvo Rossii i Kitaya v sovremennyh usloviyah], *Progressivnaya ekonomika = Progressive economy*. No. 10, pp. 34–45. [https://doi.org/10.54861/27131211_2022_10_34] (In Russian).
- Volkov, G.Yu. (2022). Objective innovative use of alternative methods in international trade in the context of sanitary regulations (based on the tanker tonnage market) [Ob'ektivnaya neobhodimost' ispol'zovaniya al'ternativnyh skhem v mezhdunarodnoj torgovle v usloviyah sankcij (na primere tenevogo rynka tankernogo tonnazha)], *Finansovaya ekonomika = Financial economy*. No. 9, pp. 164–167 (In Russian).
- Zabelina, I.A., Parfenova, K.V. (2020). Development of the Far East regions: mechanisms of accelerated economic growth [Mekhanizmy uskorennoogo ekonomicheskogo rosta regionov Dal'nego Vostoka], *Socium i vlast' = Society and power*. Vol. 87, No. 1, pp. 60–75. [<https://doi.org/10.22394/1996-0522-2021-1-60-75>] (In Russian).
- Izotov, D.A. (2022). Russia's Trade with East Asian Countries: Comparative Costs and Potential [Torgovlya Rossii so stranami Vostochnoj Azii: sravnitel'nye izderzhki i potencial], *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*. No. 3, pp. 17–41. [<https://dx.doi.org/10.14530/se.2022.3.017-041>] (In Russian).
- Kashina, N.V., Sorokin, A.P. (2012). Amurskaya area cluster approach of mining and metals production sector [Klasternyj podhod v gorno-metallurgicheskom komplekse Amurskoj oblasti], *Vestnik Tihookeanskogo Gosudarstvennogo Ekonomicheskogo Universiteta = Bulletin of the Pacific State University of Economics*. Vol. 63, No. 3, pp. 32–39 (In Russian).
- Kryukova, E.M., Bobkov, N.E. and Kolbas, K.Y. (2022). Cluster Approach in the Development of Domestic Tourism in Russia [Klasternyj podhod v razvitii vnutrennego turizma v Rossii], *Social'naya politika i sociologiya = Social policy and sociology*. Vol. 142, No. 1, pp. 17–26. [<https://doi.org/10.17922/2071-3665-2022-21-1-17-26>] (In Russian).
- Lazareva, V.V., Dyachenko, V.N. and Vlasova, N.Yu. (2022). *Potential of the border location: practice of use and directions of development: monograph*. INFRA-M. 222 p. (In Russian).
- Lechelt, Y.O., Praskova, Y.A. (2023). Relations of Russia and China at the present stage [Otnosheniya Rossii i Kitaya na sovremennom etape], *Materialy IV mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii = IV International Scientific and Practical Conference Proceedings*. Volume Part 2. pp. 34–37. [https://doi.org/10.22250/9785934934027_34] (In Russian).
- Lechelt, Y.O., Praskova, Y.A. (2023). Current state and prospects for the creation of participating companies (On the example of the Amur region) [Sovremennoe sostoyanie i perspektivy sozdaniya sovmestnyh predpriyatij (Na primere Amurskoj oblasti)]. *Materialy Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa = Materials of the International Research Competition*. pp. 95–97 (In Russian)
- Suslov, D.V. (2023). Forum of Analytic Centers of Russian-Chinese Economic Cooperation [Forum analiticheskikh centrov ekonomicheskogo vzaimodejstviya mezhdru KNR i RF], *Prostranstvennaya ekonomika = Spatial Economics*. Vol. 19, No. 3, pp. 188–190. [<https://dx.doi.org/10.14530/se.2023.3.188-190>] (In Russian).

Turaeva, M.O. (2023). Performance of Russian Freight Transport in 2022 [Gruzovoj transport Rossii: nekotorye itogi 2022 goda], *Vestnik instituta ekonomiki Rossijskoj Akademii Nauk = Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*. No. 3, pp. 45–63. (https://doi.org/10.52180/2073-6487_2023_3_45_63) [In Russian].

Cherepovskaya, N.A. (2024). Cluster approach as a tool for strategic spatial development of Russia [Klasternyj podhod kak instrument strategicheskogo prostranstvennogo razvitiya Rossii], *Problemy teorii i praktiki upravleniya = Problems of management theory and practice*. No. 9, pp. 18–28 [In Russian].

Shishkin, A.A. (2015). Strategic planning in border regions. *Economy and management*. No. 5 (115). P. 28–33 [In Russian].

Hernández, I.S.J., Guardado, R.Tr. and Gálvez, Cl.E.S. (2022). Industrial clusters: A scientific review mapping. *Iberoamerican Journal of Science Measurement and Communication*. Vol. 2, No. 2. (<https://doi.org/10.47909/ijsmc.143>).

McKernan, D., McDermott, O. (2024). Industrial clusters, creating a strategy for continued success. *Heliyon*. Vol. 10, No. 7. (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29220>).

You, Sh., Wang, L., Zhou, K. Zh. and Jia, L. (2025). Structural holes and firm innovation in industrial clusters: A dual embeddedness perspective. *Heliyon*. Vol. 10. (<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29220>).

Zhang, Y., Chen, K. (2025). The role of access to expressways on industrial clustering development in China. *China Economic Review*. Vol. 93. (<https://doi.org/10.1016/j.chieco.2025.102460>).

Информация об авторах

Information about the authors

Жуковский Андрей Дмитриевич

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Стратегическое и инновационное развитие», ведущий научный сотрудник Института региональной экономики и межбюджетных отношений Финансового университета при Правительстве Российской Федерации, Российская Федерация.

E-mail: adzhukovskij@fa.ru

Клокель Мария Сергеевна

Студент 3-его курса, очной формы обучения, направления «Менеджмент», Финансовый университет при правительстве Российской Федерации, Российская Федерация.

E-mail: maria.klokel@gmail.com

Andrey D. Zhukovskii

Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor at the Department "Strategic and Innovative Development", Leading Researcher of the Institute of Regional Economics and Interbudgetary Relations of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Russian Federation.

E-mail: adzhukovskij@fa.ru

Maria S. Klokel

3rd Year Student, Full-time Education, Management program, Financial University under the Government of the Russian Federation, Russian Federation.

E-mail: maria.klokel@gmail.com

Совершенствование информационного обеспечения рынка труда Республики Беларусь на основе современных методов прогнозирования спроса на труд

О. В. Зайцева

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

Аннотация. В условиях цифровой трансформации экономики и ускоренного развития технологий традиционные подходы к информационному обеспечению рынка труда демонстрируют существенные ограничения, что ведет к структурным дисбалансам и неэффективности политики занятости. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования методологии прогнозирования спроса на труд в Республике Беларусь. Целью исследования является обоснование направлений улучшения информационного обеспечения рынка труда на основе сравнительного анализа источников данных и методов прогнозирования. Для достижения цели проведен анализ двух источников данных: официальной статистики Государственной службы занятости (ГСЗ) и данных онлайн-порталов вакансий (ОПВ). Были построены и сопоставлены прогнозные модели на основе классических методов анализа временных рядов (SARIMA) и современных алгоритмов машинного обучения (XGBoost, LSTM, Prophet), а также их гибридных комбинаций. В результате исследования установлено, что качество и стабильность исходных данных оказывают решающее влияние на точность прогнозов. Исследование проведено в три этапа: базовое прогнозирование на данных ГСЗ (SARIMA, MAPE 11,20 %), применение моделей машинного обучения к данным ОПВ (MAPE 22–27 %) и расширенное моделирование на данных ГСЗ. Наилучший результат продемонстрировала гибридная модель SARIMAX+XGBoost на данных ГСЗ (MAPE 3,15 %), что в 3,6 раза точнее базовой модели и в 7,1 раза точнее аналогичной модели на данных ОПВ. Установлено, что данные ГСЗ и ОПВ имеют различные характеристики и области применения: данные ГСЗ обеспечивают высокую точность количественных прогнозов благодаря стабильности временных рядов, в то время как данные ОПВ представляют ценность для оперативного мониторинга и качественного анализа структуры спроса на компетенции. Предложены рекомендации по созданию комплексной информационно-аналитической системы рынка труда, интегрирующей оба источника данных.

Ключевые слова: рынок труда, прогнозирование спроса на труд, машинное обучение, гибридные модели, анализ временных рядов, онлайн-данные о вакансиях, информационно-аналитическая система рынка труда.

Информация о статье: поступила 4 декабря 2025 года.

Improving the information support of the labor market of the Republic of Belarus based on modern methods of labor demand forecasting

Olga V. Zaitseva

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. In the context of the digital transformation of the economy and accelerated technological development, traditional approaches to labor market information support show significant limitations, leading to structural imbalances and ineffective employment policies. The relevance of the study stems from the need to improve the methodology for forecasting labor demand in the Republic of Belarus. The aim of the research is to substantiate ways to improve labor market information support based on a comparative analysis of data sources and forecasting methods. To achieve this goal, an analysis of two data sources was conducted: official statistics from the State Employment Service (SES) and data from online job portals (OJP). Forecasting models were built and compared based on classical time series analysis methods (SARIMA) and modern machine learning algorithms (XGBoost, LSTM, Prophet), as well as their hybrid combinations. The study found that the quality and stability of the source data have a decisive impact on forecast accuracy. The research was conducted in three stages: baseline forecasting using SES data (SARIMA, MAPE 11.20 %), application of machine learning models to OJP data (MAPE 22–27 %), and extended modeling using SES data. The best result was demonstrated by the hybrid SARIMAX+XGBoost model using SES data (MAPE 3.15 %), which is 3.6 times more accurate than the baseline model and 7.1 times more accurate than the similar model using OJP data. The study reveals that SES and OJP data have distinct characteristics and application

areas: SES data ensure high accuracy of quantitative forecasts due to time series stability, while OJP data provide value for real-time monitoring and qualitative analysis of skills demand structure. Recommendations are proposed for creating a comprehensive labor market information and analysis system integrating both data sources.

Keywords: labor market, labor demand forecasting, machine learning, hybrid models, time series analysis, online vacancy data, labor market information system.

Article info: received December 4, 2025.

Введение

В процессе цифровой трансформации экономики и ускоренного развития технологий проблема информационного обеспечения рынка труда приобретает критическое значение [Horton and Tambe, 2015; Rahhal et al., 2024; Turulja et al., 2023; Ванкевич и Калиновская, 2022]. В этих условиях традиционные подходы к информационному обеспечению рынка труда, основанные преимущественно на периодических статистических обследованиях, демонстрируют существенные ограничения, связанные с временным лагом данных, недостаточной детализацией и неспособностью учитывать быстро меняющиеся структурные изменения [Brynjolfsson et al., 2019; Rahhal et al., 2024; Turulja et al., 2023].

Качество и своевременность информации о текущем состоянии и перспективах развития рынка труда определяют эффективность решений на всех уровнях – от государственной политики занятости до индивидуального выбора образовательной траектории¹.

Ситуация в Республике Беларусь характеризуется наличием фрагментированной информационной инфраструктуры рынка труда. Основные источники данных (обследование рабочей силы (ОРС), статистические данные Национального статистического комитета и Министерства труда и социальной защиты и др.) предоставляют важную, но ограниченную информацию, усиливая информационную асимметрию на рынке труда.

Последствия недостаточного информационного обеспечения рынка труда проявляются на нескольких уровнях. На макроуровне это затрудняет формирование эффективной политики занятости и согласование рынка образовательных услуг с потребностями рынка труда. Отсутствие надежных прогнозов спроса на рабочую силу по профессиям и квалификациям приводит к

структурным дисбалансам, когда система образования продолжает готовить специалистов по профессиям с избыточным предложением, в то время как дефицит кадров в критически важных областях остается неудовлетворенным. На уровне работодателей информационный дефицит проявляется в длительных сроках закрытия вакансий, несоответствии навыков кандидатов требованиям должностей, необходимости инвестировать значительные ресурсы в дополнительное обучение принятых работников. Для соискателей недостаток информации о рынке труда приводит к не всегда оптимальным карьерным решениям, длительным периодам безработицы, уходу в неформальную занятость, несоответствию между полученной квалификацией и выполняемой работой².

Совершенствование информационного обеспечения рынка труда требует комплексного подхода, охватывающего институциональные, методологические, технологические и организационные аспекты³.

Прогнозирование параметров рынка труда представляет собой одну из наиболее сложных и критически важных задач информационно-аналитического обеспечения. Качество прогнозов спроса и предложения рабочей силы, потребностей в навыках, дефицита и избытка кадров непосредственно влияет на эффективность политики занятости, планирование развития системы образования и профессионального обучения, инвестиционные решения предприятий в области человеческих ресурсов [Orozco-Castañeda et al., 2024; Rahhal

¹ World Economic Forum (2020) The Future of Jobs Report 2020. Geneva: World Economic Forum. Available at: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020/> [Accessed: 20 November 2025].

² International Labour Organization (ILO) (2025) World Employment and Social Outlook: Trends 2025. Geneva: ILO. Available at: <https://www.ilo.org/publications/flagship-reports/world-employment-and-social-outlook-trends-2025> [Accessed: 20 November 2025].

³ Cedefop, ILO, ETF and OECD (2016) Developing skills foresights, scenarios and forecasts - Guide to anticipating and matching skills and jobs Vol. 2. European Training Foundation. Available at: https://www.cedefop.europa.eu/files/2216_en.pdf [Accessed: 15 November 2025].

et al., 2024).

Существующая практика прогнозирования рынка труда в Республике Беларусь базируется преимущественно на традиционных подходах, разработанных в период, когда доступность данных была ограничена периодическими статистическими обследованиями и административными источниками, а вычислительные возможности не позволяли применять сложные алгоритмы машинного обучения. Это создает необходимость в совершенствовании методологии прогнозирования на основе интеграции традиционных эконометрических подходов с современными методами машинного обучения и искусственного интеллекта, использования альтернативных источников данных в режиме реального времени, разработки моделей, учитывающих структурные изменения и способных обеспечивать детальное прогнозирование по профессиям и навыкам.

Основными элементами традиционной методологии являются:

- прогнозирование численности рабочей силы на основе демографических прогнозов и трендовых моделей участия в рабочей силе;
- прогнозирование занятости по видам экономической деятельности на основе макроэкономических прогнозов выпуска (ВВП, валовая добавленная стоимость) и предполагаемой динамики производительности труда;
- расчет прогнозного баланса спроса и предложения рабочей силы;
- экспертные оценки потребностей в специалистах по отдельным профессиям и специальностям.

Данная методология, являясь подходящей для условий относительно стабильной экономической среды и медленных структурных изменений, демонстрирует существенные ограничения в современных условиях:

1) Временной лаг данных. Традиционная методология базируется на данных обследования рабочей силы (ОРС), которое проводится с квартальной периодичностью, и макроэкономических показателей из системы национальных счетов, публикуемых с задержкой в несколько месяцев. В условиях высокой динамики изменений на рынке труда, особенно характерной для периодов экономических кризисов или структурных трансформаций, использование данных с лагом в 3–6 месяцев приводит к тому, что модели прогнозирования не успевают отразить поворотные точки и резкие изменения тенденций (Orozco-Castañeda et al., 2024). Например, анализ

точности прогнозов уровня безработицы, выполненных традиционными методами в период пандемии COVID-19, показал существенные ошибки прогнозирования из-за неспособности моделей быстро адаптироваться к резким изменениям конъюнктуры рынка труда (Sajner et al., 2020).

2) Недостаточная детализация прогнозов. Традиционная методология, как правило, обеспечивает прогнозирование агрегированных показателей (общая численность занятых, безработных, рабочей силы) и занятости по укрупненным видам экономической деятельности (ОКРБ 005-2011). Однако для эффективного планирования развития системы образования и профессионального обучения требуется значительно более детальная информация – прогнозы спроса на рабочую силу по профессиям и по конкретным навыкам и компетенциям. Традиционные макроэкономические модели не обеспечивают такого уровня детализации и ограничивают возможности адаптации образовательных программ и политики занятости к реальным потребностям рынка⁴.

3) Недостаточный учет структурных изменений и технологических трансформаций. Традиционные эконометрические модели (ARIMA, VAR, регрессионные модели) предполагают определенную стабильность взаимосвязей между переменными и экстраполируют исторические закономерности в будущее. Однако в условиях цифровизации экономики, автоматизации производственных процессов, развития искусственного интеллекта традиционные модели не позволяют учитывать изменения в профессиональной структуре занятости, обусловленные появлением новых профессий и исчезновением устаревающих профессий (Nontapa, C. et al., 2020; Anesti et al., 2024; Brynjolfsson et al., 2019).

4) Игнорирование альтернативных источников информации. Традиционная методология базируется исключительно на официальных статистических данных и макроэкономических показателях, в то время как существует богатый массив информации, доступной из онлайн-источников – онлайн-порталы вакансий в режиме реального времени отражают текущий спрос на рабочую силу с детальной информацией о требуемых навыках и предлагаемых уровнях заработной платы (Podjanin et al., 2020; Tzimas et al., 2024; Зайцева, 2025с).

⁴ Cedefop and Eurofound (2018) Skills forecast: trends and challenges to 2030. Luxembourg: Publications Office. Cedefop reference series; No 108. Available at: <http://data.europa.eu/doi/10.2801/4492> (Accessed: 15 November 2025).

5) Недостаточное использование методов машинного обучения. Традиционные эконометрические модели основаны на предположениях о линейных взаимосвязях между переменными и ограниченном числе лагов. Однако взаимосвязи между различными параметрами рынка труда и их детерминантами часто имеют нелинейный характер, включают сложные взаимодействия между факторами и долгосрочные зависимости. Методы машинного обучения способны выявлять и моделировать такие сложные зависимости, что при наличии достаточных объемов данных позволяет достигать более высокой точности прогнозирования (Anesti et al., 2024; Brynjolfsson et al., 2019; Orozco-Castañeda et al., 2024; Rahhal et al., 2024; Thejovathi et al., 2024).

6) Недостаточная проработка прогнозов замещающего спроса (replacement demand). Традиционная методология фокусируется преимущественно на прогнозировании спроса на расширение (expansion demand) – изменения численности занятых в связи с экономическим ростом или спадом. Однако замещающий спрос, обусловленный выходом работников на пенсию, смертностью, профессиональной мобильностью, часто количественно превосходит спрос на расширение, особенно в условиях демографического старения населения⁵. Международная практика (например, модель COPS в Канаде, модели Cedefop в Европейском союзе) демонстрирует важность детального моделирования замещающего спроса с использованием демографических данных, данных о профессиональной мобильности, статистики выхода на пенсию. В Республике Беларусь методология прогнозирования замещающего спроса практически не развита, что приводит к недооценке реальных потребностей в подготовке кадров.

Таким образом, традиционные методы прогнозирования рынка труда в Республике Беларусь, при всей их методологической обоснованности для условий, в которых они разрабатывались, демонстрируют существенное ухудшение качества в новых условиях, характеризующихся высокой динамикой изменений, доступностью альтернативных источников данных в режиме реального времени, необходимостью детального прогнозирования по профессиям и навыкам, значимостью структурных трансформаций и технологических изменений. Это со-

⁵ OECD (2019), *Getting Skills Right: Future-Ready Adult Learning Systems*, Getting Skills Right, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264311756-en>

здает необходимость в совершенствовании методологии прогнозирования на основе интеграции традиционных подходов с современными методами машинного обучения, использования альтернативных источников данных и разработки моделей, учитывающих структурные изменения.

Целью исследования является обоснование направлений совершенствования информационного обеспечения рынка труда Республики Беларусь на основе сравнительного анализа источников данных и методов прогнозирования спроса на труд. В рамках данной работы спрос на труд понимается как динамика вакансий, то есть часть общего спроса, отражающая неудовлетворенный спрос и краткосрочную конъюнктуру.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- построить и сравнить модели прогнозирования спроса на рынке труда Республики Беларусь на основе различных источников данных (традиционные модели временных рядов, модели машинного обучения, гибридные модели);
- оценить влияние качества и природы данных на точность прогнозов;
- сформулировать рекомендации по совершенствованию информационного обеспечения и методов прогнозирования на рынке труда Республики Беларусь.

Методы и средства исследований

Характеристика источников данных о спросе на труд

Для построения прогнозных моделей количества вакансий на рынке труда Республики Беларусь были использованы следующие источники данных, каждый из которых имеет свои характеристики, преимущества и ограничения:

1. Данные Государственной службы занятости (ГСЗ) – представляют собой официальную статистику Государственной службы занятости Республики Беларусь о количестве зарегистрированных вакансий. Данные собираются в рамках официальной статистической отчетности с использованием стандартизированных методологий.

Временной ряд (рисунок 1) охватывает период с января 2016 года по август 2025 года, включая 116 месячных наблюдений. За период наблюдения количество вакансий выросло с 27 623 единиц в январе 2016 года до 220 589 единиц в июне 2025 года, что соответствует впечатляющему приросту на 602 % и среднему годовому темпу роста 23,4 %. Среднее значение показателя со-

ставило 94 008 вакансий при стандартном отклонении 44 532 вакансии, что дает коэффициент вариации 47,4 %. Визуальный анализ временного ряда выявил наличие сезонных колебаний с периодом 12 месяцев, а также структурные сдвиги, связанные с пандемией COVID-19 (апрель–май 2020) и геополитическими событиями 2020–2022 гг.

2. Данные онлайн-порталов по поиску работы (ОПВ) – информация о количестве вакансий, размещенных на онлайн-порталах по поиску работы в Республике Беларусь (rabota.by, praca.by, belmeta.com и др.). Временной ряд охватывает период с февраля 2013 года по июнь 2022 года, включающий 113 месячных наблюдений⁶.

За период наблюдения количество вакансий на онлайн-порталах выросло с 60 738 единиц в феврале 2013 года до 102 316 единиц в июне 2022 года, что соответствует приросту на 53 % и среднему годовому темпу роста 11,6 %. Среднее значение показателя составило 73 171 вакансию при стандартном отклонении 26 708 вакансий, что дает коэффициент вариации 36,5 %.

⁶ Данные были получены в рамках научно-исследовательской работы «Цифровизация рынка труда в инновационной экономике Республики Беларусь: направления, методы анализа, регулирование, прогноз 2021–2025 гг.» (ГПНИ, № 20211113) в соответствии с методикой (Vankevich and Kalinouskaya, 2021).

Данные онлайн-порталов характеризуются широким охватом, высокой оперативностью обновления и большей волатильностью, отражающей быструю реакцию на изменения конъюнктуры. Они доступны в режиме реального времени и особенно полно представляют сегмент квалифицированных специалистов. Высокая чувствительность данных ОПВ к структурным сдвигам и конъюнктурным изменениям делает их ценными для раннего выявления трендов, оперативного мониторинга и качественного анализа требований к компетенциям.

В рамках данного исследования был проведен сравнительный анализ источников данных (таблица 1).

Период пересечения данных ГСЗ и ОПВ охватывает январь 2016 года – июнь 2022 года, что составляет 78 месячных наблюдений (рисунок 2). В период пересечения среднее количество вакансий составило 76 114 единиц по данным ОПВ и 69 563 единицы по данным ГСЗ, что дает соотношение 1,09. Это означает, что онлайн-порталы фиксировали в среднем на 9 % больше вакансий, чем официальная статистика ГСЗ. Данное различие может объясняться несколькими факторами: более широким охватом онлайн-порталов, включением вакансий, не зарегистрированных в службе занятости, а также возможным дублированием вакансий на различных порталах.

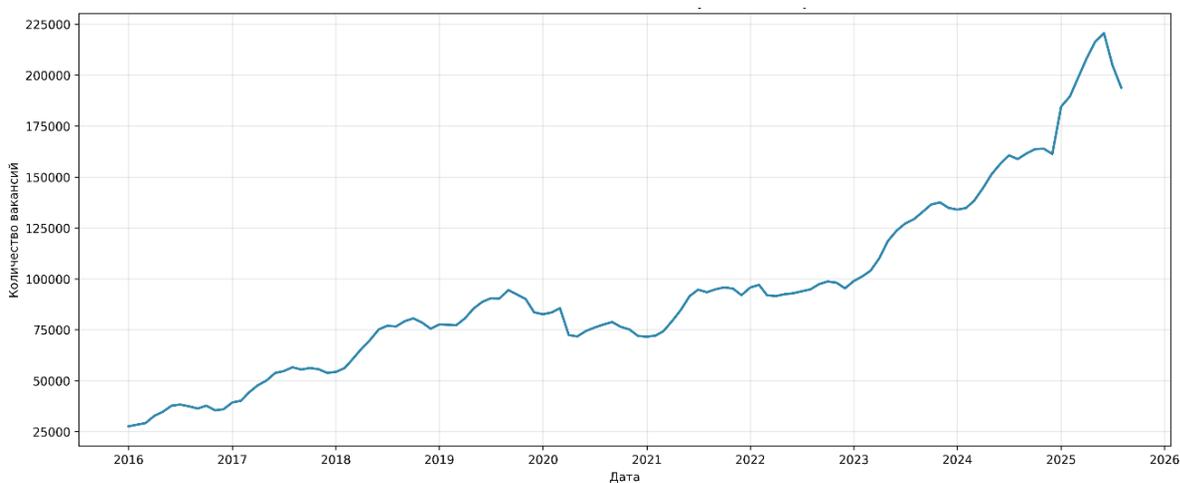


Рисунок 1 – Динамика количества вакансий по данным государственной службы занятости
 Figure 1 – Vacancy dynamics according to the data of the state employment service

Источник: составлено автором.

Таблица 1 – Описательная статистика источников данных о количестве вакансий
Table 1 – Descriptive statistics of vacancy data sources

Показатель	ОПВ (2013-2022)	ГСЗ (2016-2025)
Количество наблюдений	113	116
Среднее значение	73 171	94 008
Стандартное отклонение	26 708	44 532
Минимум	32 755 (декабрь 2015)	27 623 (январь 2016)
Максимум	158 904 (июнь 2021)	220 589 (июнь 2025)
Коэффициент вариации	36,5 %	47,4 %
Общий рост за период	+53,2 %	+601,7 %

Источник: составлено автором.

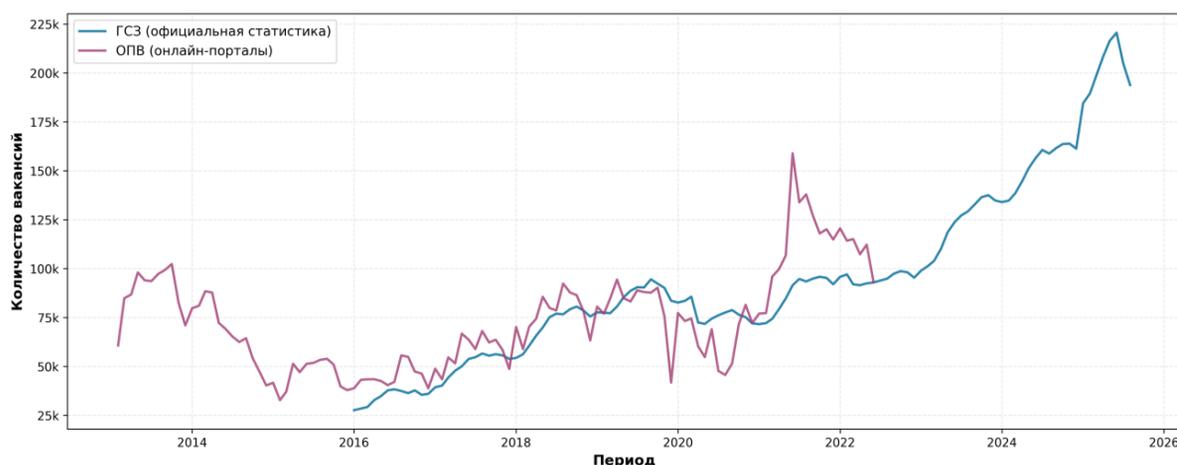


Рисунок 2 – Динамика количества вакансий по данным ГСЗ и онлайн-порталов вакансий
Figure 2 – Vacancy dynamics according to the data of the State employment service and online job portals

Источник: составлено автором.

Важным наблюдением является различие в темпах роста двух показателей. Данные ГСЗ демонстрируют значительно более высокий средний годовой темп роста (23,4 %) по сравнению с данными ОПВ (11,6 %). Это может отражать как реальные изменения в структуре рынка труда и каналах поиска работы, так и изменения в практике регистрации вакансий в государственной службе занятости. Резкий рост количества вакансий в ГСЗ в последние годы может быть связан с усилением взаимодействия между работодателями и службой занятости, а также с изменениями в нормативно-правовой

базе (с 01.01.2025 наниматели обязаны подавать сведения о наличии вакансий в Общереспубликанский банк вакансий путем их размещения на портале ГСЗ).

Для оценки репрезентативности онлайн-данных был проведен анализ взаимосвязи между данными ГСЗ и ОПВ за период их пересечения (январь 2016 – декабрь 2022 года, $n = 84$ наблюдения). Результаты анализа представлены в таблице 2.

Высокий коэффициент корреляции ($r = 0,89$) свидетельствует о том, что оба источника данных отражают общую динамику спроса на рабочую силу. Следует

Таблица 2 – Статистические характеристики взаимосвязи данных ГСЗ и ОПВ

Table 2 – Statistical characteristics of the relationship between data from the State employment service and online job portals

Показатель	Значение	Значимость
Коэффициент корреляции Пирсона	0,89	$p < 0,001$
Коэффициент корреляции Спирмена	0,92	$p < 0,001$
Среднее отношение ОПВ/ГСЗ	1,47	–
Стандартное отклонение отношения	0,38	–
Коэффициент вариации отношения	25,9 %	–

Источник: составлено автором.

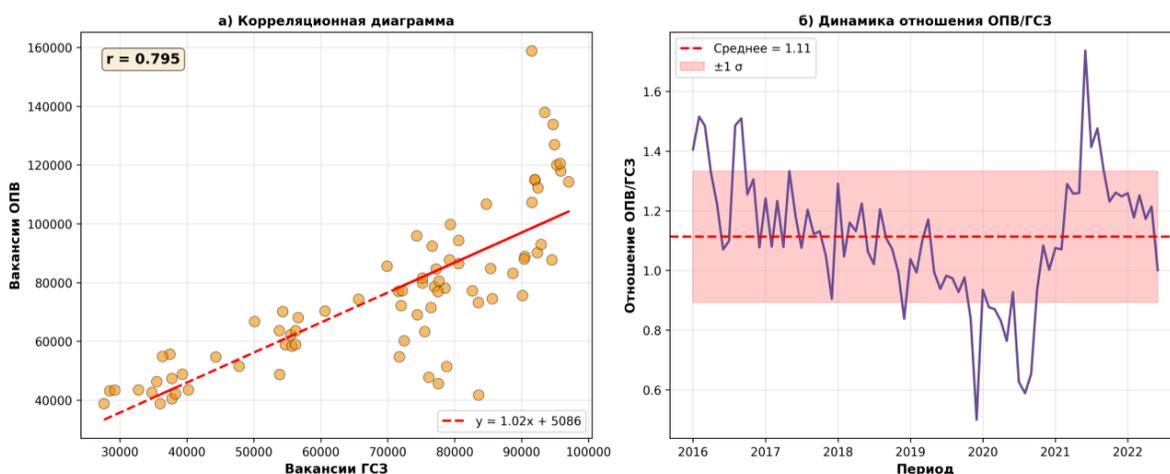


Рисунок 3 – Анализ взаимосвязи данных ГСЗ и ОПВ

Figure 3 – Analysis of the relationship between data from the State employment service and online job portals

Источник: составлено автором.

отметить, что наблюдаемая корреляция может быть частично обусловлена не только общими макроэкономическими трендами, но и частичным пересечением данных: некоторые онлайн-порталы (например, belmeta.com) функционируют как агрегаторы, собирающие вакансии из различных источников, включая данные ГСЗ. Это означает, что часть вакансий, зарегистрированных в ГСЗ, может дублироваться на онлайн-порталах, что усиливает наблюдаемую взаимосвязь между источниками. Визуализация взаимосвязи представлена на рисунке 3.

Модели прогнозирования и программные средства реализации

Для построения прогнозных моделей количества вакансий на рынке труда Республики Беларусь были использованы различные методы прогнозирования. В первую очередь применялись классические модели временных рядов, такие как SARIMA и SARIMAX, которые позволяют учитывать сезонность и тренды в данных. Параметры моделей выбирались с использованием автоматизированных процедур (Auto-ARIMA) и критериев информационного качества (AIC, BIC).

В дополнение к традиционным методам были использованы современные модели машинного обучения, включая XGBoost, LightGBM, LSTM и Prophet. Эти модели способны выявлять сложные нелинейные зависимости и учитывать широкий набор признаков, включая лаговые значения, скользящие средние, сезонные индикаторы и макроэкономические показатели. Для повышения точности прогнозов применялась кросс-валидация и создание лагов.

Все вычисления выполнялись в среде программирования Python 3.10.12 (Jupyter Notebook) с использованием библиотек statsmodels, XGBoost, pandas, NumPy, Matplotlib и scikit-learn.

Для оценки качества прогнозов использовались стандартные метрики: средняя абсолютная ошибка (MAE), среднеквадратичная ошибка (RMSE) и средняя абсолютная процентная ошибка (MAPE). Данные были разделены на обучающую и тестовую выборки для объективной проверки точности моделей. Сравнение моделей и источников данных проводилось на основе этих критериев.

Результаты прогнозирования спроса на труд

Прогнозирование количества вакансий на рынке труда проводилось в три этапа, каждый из которых представляет собой самостоятельную стратегию прогнозирования:

Этап 1. Построение базовой модели SARIMA на данных ГСЗ.

Этап 2. Построение моделей машинного обучения на данных ОПВ. Реализованы три модели: XGBoost, LSTM и гибридная модель SARIMAX+XGBoost.

Этап 3. Построение расширенного набора моделей на данных ГСЗ. Реализованы пять моделей: XGBoost, LightGBM, LSTM, Prophet и гибридная модель SARIMAX+XGBoost.

Этап 1. Прогнозирование с использованием модели SARIMA на данных ГСЗ

Построение модели SARIMA осуществлялось в соответствии с методологией Бокса-Дженкинса (проверка стационарности временного ряда с использованием расширенного теста Дики-Фуллера (ADF); определение порядка интегрирования d и D ; анализ автокорреляционной (ACF) и частной автокорреляционной (PACF) функций для определения параметров p, q, P, Q ; оценка параметров; проверка остатков на отсутствие автокорреляции (тест Льюнга-Бокса); анализ нормальности распределения остатков; разделение выборки на обучающую и тестовую; оценка точности прогноза на тестовой выборке).

Результаты расширенного теста Дики-Фуллера для исходного временного ряда показали отсутствие стационарности (ADF-статистика = 0,795, p-value = 0,992 > 0,05), что привело к необходимости дифференцирования. После применения первой разности ($d = 1$) ряд стал стационарным (ADF-статистика = -3,254, p-value = 0,017 < 0,05) (рисунок 4).

В результате перебора параметров было протестировано 36 спецификаций модели SARIMA. Оптимальной по критерию AIC оказалась модель SARIMA(1,1,2)×(1,1,1,12) с AIC = 1223,79 и BIC = 1236,74.

Параметры модели представлены в таблице 3.

Статистически значимым на уровне 1 % оказался параметр сезонного скользящего среднего SMA(12), что подтверждает наличие выраженной годовой сезонности в динамике вакансий.

Оценка точности модели на тестовой выборке (24 наблюдения, сентябрь 2023 – август 2025) показала следующие результаты:

- MAE (средняя абсолютная ошибка) = 21 025 вакансий;
- RMSE (среднеквадратичная ошибка) = 28 426 вакансий;
- MAPE (средняя абсолютная процентная ошибка) = 11,20 %.

Значение MAPE = 11,20 % соответствует приемлемой точности прогнозирования согласно классификации Льюиса (MAPE < 20 % – хорошее качество прогноза).

Следует отметить, что наибольшие отклонения прогноза от фактических значений наблюдались в первой половине 2025 года, когда произошел резкий скачок количества вакансий (+14 % в январе 2025 по сравнению с декабрем 2024). Данный структурный сдвиг не был полностью учтен моделью, построенной на исторических данных.

После переобучения модели на полном массиве данных (116 наблюдений) был построен прогноз на период сентябрь 2025 – август 2026 года. Результаты прогнозирования представлены в таблице 4.

Согласно прогнозу (рисунок 5), ожидается стабилизация количества вакансий на уровне около 195 тысяч в месяц с сохранением сезонной динамики: минимальные значения в зимние месяцы (декабрь-январь), максимальные – в летний период (июнь-июль). Доверительный интервал прогноза расширяется с увеличением

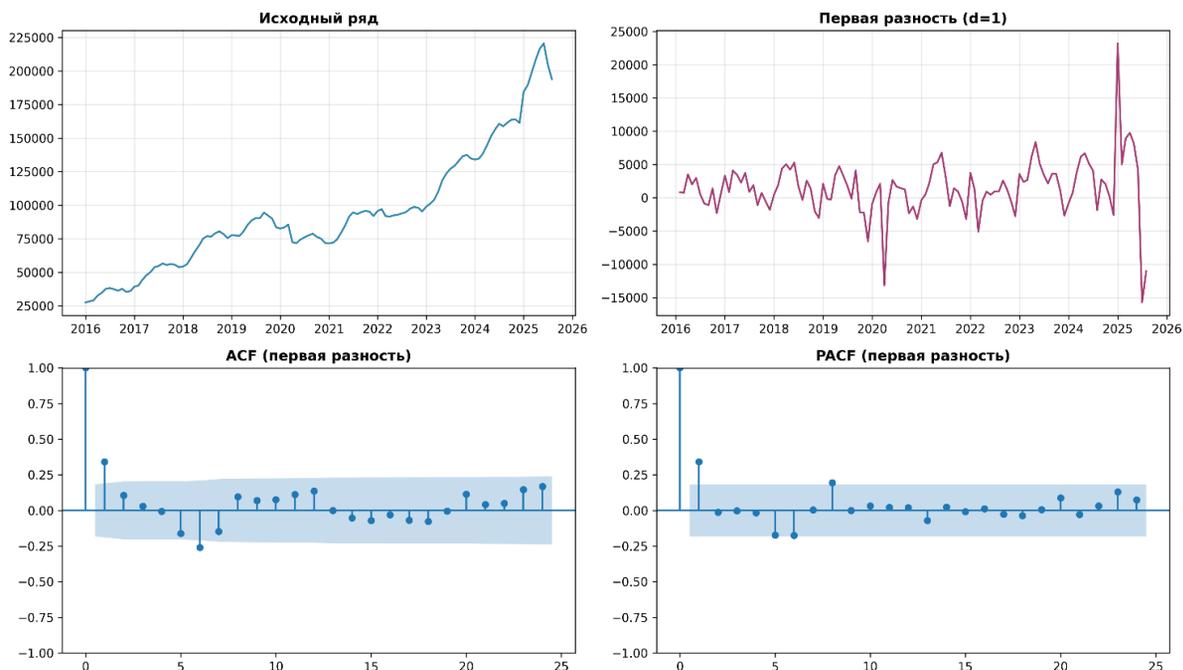


Рисунок 4 – Результаты дифференцирования временного ряда

Figure 4 – Results of differencing the time series

Источник: составлено автором.

Таблица 3 – Оценки параметров модели SARIMA(1,1,2)×(1,1,12)

Table 3 – Estimated parameters of the SARIMA(1,1,2)×(1,1,12) model

Параметр	Коэффициент	Ст. ошибка	p-value
AR(1)	0,7748	0,528	0,143
MA(1)	-0,4661	0,591	0,430
MA(2)	-0,0771	0,316	0,807
SAR(12)	-0,2165	0,193	0,262
SMA(12)	-0,5469	0,166	0,001***
σ^2	$9,59 \times 10^6$	$1,06 \times 10^6$	0,000***

Примечание: *** – значимость на уровне 1%.

Источник: составлено автором.

горизонта прогнозирования, что отражает нарастание неопределенности.

Полученные результаты подтверждают применимость классических эконометрических моделей для краткосрочного и среднесрочного прогнозирования

показателей рынка труда. Модель SARIMA успешно улавливает как долгосрочный тренд роста количества вакансий, так и сезонные колебания, связанные с циклическим характером экономической активности.

Таблица 4 – Прогноз количества вакансий на сентябрь 2025 – август 2026 года
Table 4 – Vacancy forecast for September 2025 – August 2026

Месяц	Прогноз	Нижняя граница (95%)	Верхняя граница (95%)
Сентябрь 2025	189 918	180 725	199 111
Октябрь 2025	188 064	172 494	203 634
Ноябрь 2025	186 143	164 523	207 763
Декабрь 2025	182 276	155 224	209 327
Январь 2026	187 602	155 699	219 506
Февраль 2026	189 375	153 107	225 643
Март 2026	192 756	152 519	232 993
Апрель 2026	198 215	154 332	242 099
Май 2026	204 541	157 274	251 809
Июнь 2026	208 936	158 503	259 369
Июль 2026	208 112	154 696	261 528
Август 2026	205 551	149 309	261 793

Источник: составлено автором.

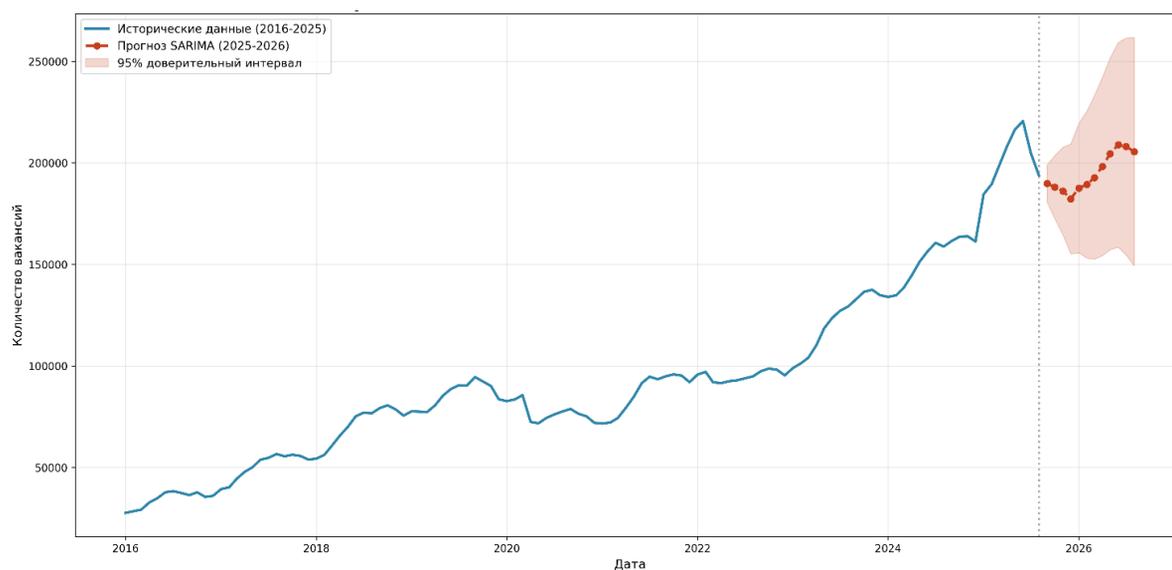


Рисунок 5 – Прогноз количества вакансий на рынке труда Республики Беларусь на период до августа 2026 года (модель SARIMA)

Figure 5 – Vacancy forecast for the labor market of the Republic of Belarus up to August 2026 (SARIMA Model)

Источник: составлено автором.

Вместе с тем, исследование выявило ограничения данного подхода. Во-первых, модель демонстрирует снижение точности при прогнозировании структурных сдвигов, вызванных экзогенными шоками (пандемия, геополитические события). Во-вторых, классический подход не учитывает влияние экономических факторов (ВВП, инфляция, заработная плата и др.), которые могут существенно влиять на динамику вакансий.

Эти ограничения указывают на необходимость развития гибридных подходов, сочетающих классические эконометрические модели с методами машинного обучения и использованием альтернативных источников данных (онлайн-вакансии, поисковые запросы, данные социальных сетей).

Этап 2. Прогнозирование с использованием моделей машинного обучения на данных ОПВ

Анализ данных онлайн-порталов вакансий выявил существенно более высокую волатильность по сравнению с данными ГСЗ. Для построения моделей машинного обучения был создан набор из 39 признаков, включающий лаговые значения, скользящие средние, сезонные индикаторы и макроэкономические показатели.

Набор признаков включал лаговые значения (1, 3, 6, 12 месяцев), скользящие средние (окна 3, 6, 12 месяцев), сезонные индикаторы и производные признаки. Модель XGBoost настроена с параметрами: learning_rate = 0.05, max_depth = 5, n_estimators = 200. Анализ важности признаков показал наибольший вклад лага 1 месяца (34 %), скользящего среднего за 3 месяца (21 %) и сезонного индикатора (17 %). Модель LSTM включала два слоя по 50 нейронов с dropout 0.2, обучение на 100 эпохах с ранней остановкой. Гибридная модель SARIMAX+XGBoost реализована в два этапа: базовый прогноз SARIMAX и коррекция остатков с помощью XGBoost.

Результаты прогнозирования на тестовой выборке (январь 2020 – декабрь 2022, 36 наблюдений) представлены в таблице 5.

Модели на данных ОПВ показали MAPE в диапазоне 22–27 %, что отражает специфику этих данных – высокую волатильность и чувствительность к конъюнктурным изменениям. Наилучший результат среди моделей на данных ОПВ продемонстрировала гибридная модель SARIMAX+XGBoost с MAPE = 22,29 %. Сравнение с результатами на данных ГСЗ (MAPE = 11,20 % для базовой модели SARIMA) указывает на различие в природе источников: данные ГСЗ характеризуются большей стабильностью для количественного прогнозирования, тогда как данные ОПВ требуют иных подходов к анализу и наиболее эффективны для качественных исследований и мониторинга (рисунок 6).

Этап 3. Прогнозирование с использованием расширенного набора моделей на данных ГСЗ

Результаты второго этапа показали, что модели машинного обучения на данных ОПВ демонстрируют иные характеристики точности по сравнению с ожидаемыми. Для более полного понимания факторов, влияющих на точность прогнозирования, был построен расширенный набор моделей на данных ГСЗ, что позволило провести сравнительный анализ влияния характеристик различных источников данных на результаты моделирования.

Результаты прогнозирования на тестовой выборке (октябрь 2023 – декабрь 2024, 15 наблюдений) представлены в таблице 6.

Результаты третьего этапа исследования кардинально отличаются от второго этапа. Все модели машинного обучения на данных ГСЗ показали высокую точность, сопоставимую или превосходящую базовую модель SARIMA. Наилучший результат продемонстрировала гибридная модель SARIMAX+XGBoost с MAPE = 3,15 %, что

Таблица 5 – Точность моделей машинного обучения на данных ОПВ
Table 5 – Accuracy of machine learning models on online job portal data

Модель	MAPE	MAE	RMSE
XGBoost	23,92 %	16 847	20 134
LSTM	27,43 %	19 312	24 567
Гибридная (SARIMAX+XGBoost)	22,29 %	15 698	19 045

Источник: составлено автором.

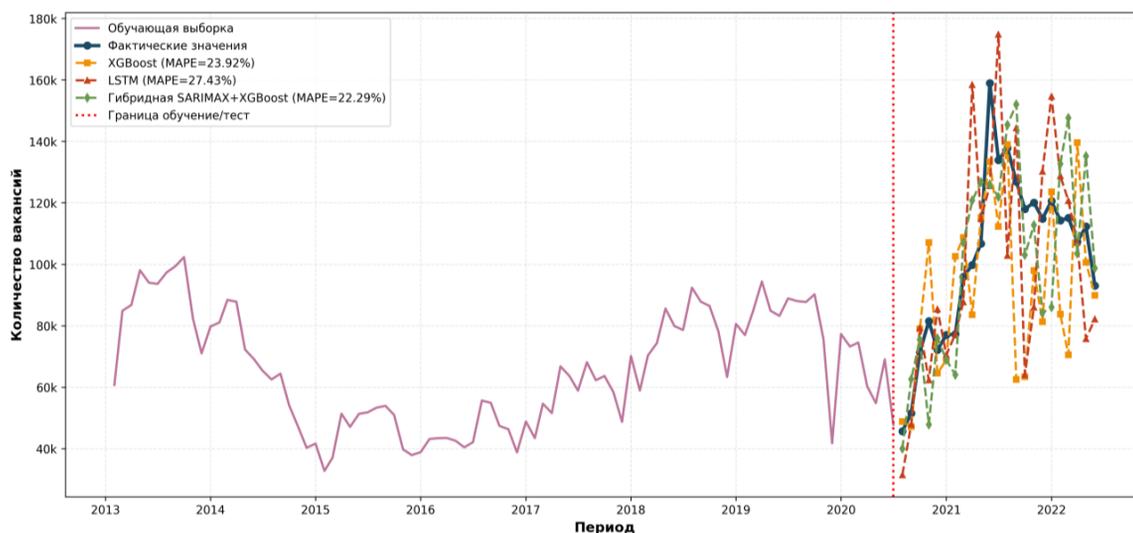


Рисунок 6 – Сравнение моделей машинного обучения на данных ОПВ
Figure 6 – Comparison of machine learning models on online job portal data

Источник: составлено автором.

Таблица 6 – Сравнительная точность моделей на данных ГСЗ
Table 6 – Comparative accuracy of models on state employment service data

Модель	MAPE	MAE	RMSE
SARIMA(1,1,2)×(1,1,1,12)	11,20 %	21 025	28 426
XGBoost	10,50 %	18 234	23 567
LightGBM	15,70 %	27 891	34 123
LSTM	8,92 %	15 678	19 234
Prophet	12,34 %	22 456	28 901
Гибридная (SARIMAX+XGBoost)	3,15 %	5 234	6 789

Источник: составлено автором.

в 3,6 раза точнее базовой модели SARIMA и в 7,1 раза точнее аналогичной гибридной модели на данных ОПВ.

Анализ остатков гибридной модели подтвердил отсутствие автокорреляции и близость распределения к нормальному, что свидетельствует об адекватности модели. Компонента XGBoost эффективно корректирует систематические ошибки SARIMAX, связанные с нелинейными эффектами.

Таким образом, сопоставление результатов трех этапов исследования позволяет сделать ряд важных выво-

дов о факторах, определяющих точность прогнозирования. Сводные результаты представлены в таблице 7 и на рисунке 7.

Ключевой вывод заключается в том, что точность количественного прогнозирования определяется в первую очередь характеристиками исходных данных – их стабильностью, регулярностью и природой временных рядов, а не только выбором метода прогнозирования. Одни и те же модели машинного обучения показали различные результаты на данных ОПВ и ГСЗ, что под-

Таблица 7 – Сводные результаты трех этапов исследования
Table 7 – Summary results of the three stages of the study

Этап	Модель	Данные	MAPE
Этап 1	SARIMA	ГСЗ	11,20 %
Этап 2	XGBoost	ОПВ	23,92 %
Этап 2	LSTM	ОПВ	27,43 %
Этап 2	Гибридная	ОПВ	22,29 %
Этап 3	XGBoost	ГСЗ	10,50 %
Этап 3	LSTM	ГСЗ	8,92 %
Этап 3	Гибридная	ГСЗ	3,15 %

Источник: составлено автором.

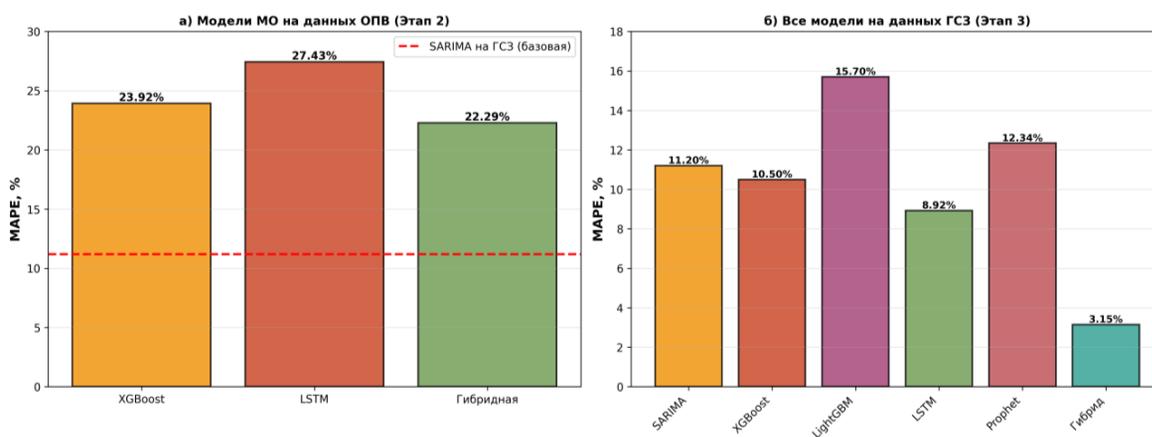


Рисунок 7 – Сравнение точности моделей прогнозирования (MAPE)
Figure 7 – Comparison of forecasting model accuracy (MAPE)

Источник: составлено автором.

тверждает специфику каждого источника. Данные ГСЗ, характеризующиеся стабильностью, оптимальны для построения точных количественных прогнозов. Данные ОПВ, обладающие высокой чувствительностью к изменениям, наиболее ценны для оперативного мониторинга и качественного анализа.

Далее на основе наилучшей модели (гибридная SARIMAX+XGBoost) был построен прогноз количества вакансий на период сентябрь 2025 – декабрь 2026 года. Результаты прогнозирования представлены в таблице 8 и на рисунке 8.

Согласно прогнозу, ожидается постепенный рост количества вакансий с уровня около 188 тысяч в месяц в конце 2025 года до 207 тысяч в среднем за 2026 год с сохранением выраженной сезонной динамики: минимальные значения в зимние месяцы (декабрь–январь), максимальные – в летний период (май–июнь). Среднемесячное значение прогноза на 2026 год составляет 206 791 вакансию, что на 9,9 % выше прогнозируемого среднего значения 2025 года (188 159 вакансий). Ширина доверительного интервала прогноза ($\pm 20\text{--}25\%$ от точечного прогноза) отражает умеренную неопределенность

Таблица 8 – Прогноз количества вакансий на сентябрь 2025 – декабрь 2026 года
Table 8 – Vacancy forecast for September 2025 – December 2026

Месяц	Прогноз	Нижняя граница (95 %)	Верхняя граница (95 %)
Сентябрь 2025	190103	157382	222825
Октябрь 2025	189542	155586	223499
Ноябрь 2025	188225	153077	223373
Декабрь 2025	184765	148464	221066
Январь 2026	189739	152321	227157
Февраль 2026	193502	154999	232005
Март 2026	197750	158192	237309
Апрель 2026	204237	163651	244823
Май 2026	211141	169553	252730
Июнь 2026	215348	172781	257915
Июль 2026	213397	169874	256921
Август 2026	209877	165417	254336
Сентябрь 2026	211283	165907	256660
Октябрь 2026	212768	166493	259043
Ноябрь 2026	212599	165442	259755
Декабрь 2026	209852	161830	257874

Источник: составлено автором.

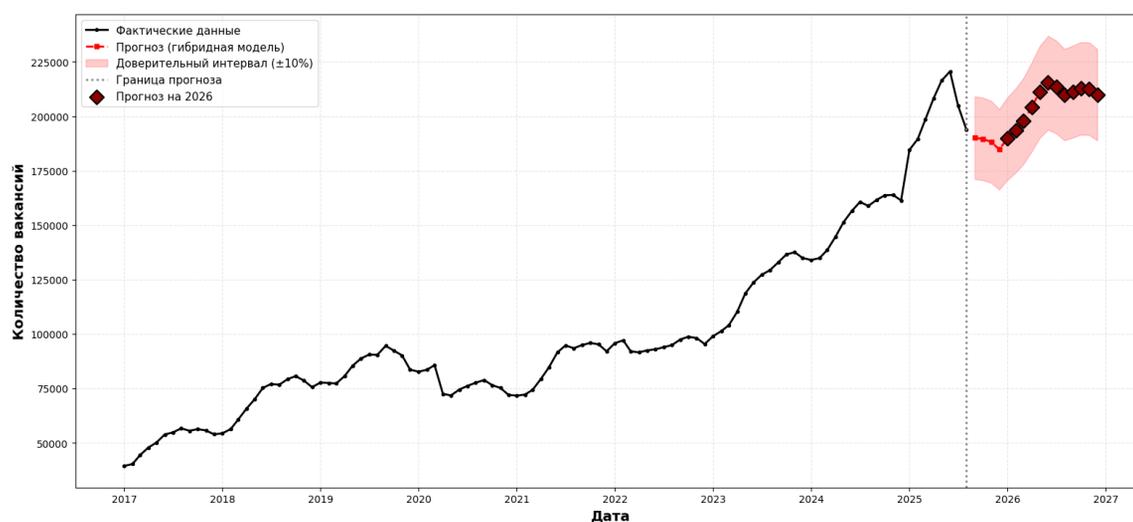


Рисунок 8 – Прогноз количества вакансий на 2025–2026 годы (гибридная модель)
Figure 8 – Vacancy forecast for 2025–2026 (hybrid model)

Источник: составлено автором.

среднесрочного прогноза и соответствует международной практике прогнозирования показателей рынка труда на горизонте 12–18 месяцев. Основными источниками неопределенности являются: возможные изменения макроэкономической конъюнктуры, непредсказуемые внешние шоки, изменения в политике занятости и миграционные процессы.

Обсуждение результатов и направления совершенствования информационного обеспечения рынка труда

Анализ результатов исследования подтверждает, что различные источники данных о рынке труда имеют специфические характеристики, определяющие их оптимальные области применения. Данные ГСЗ, обладающие рядом недостатков, но характеризующиеся стабильностью временных рядов, высокой надежностью и полнотой, оптимальны для построения точных количественных прогнозов среднесрочного характера. Данные ОПВ, обладающие высокой оперативностью, широким охватом и чувствительностью к изменениям конъюнктуры, представляют особую ценность для раннего выявления трендов, оперативного мониторинга текущего состояния рынка труда и качественного анализа требований к компетенциям и навыкам. Таким образом, оба источника данных являются взаимодополняющими компонентами комплексной системы информационного обеспечения рынка труда, каждый из которых вносит уникальный вклад в понимание процессов на рынке труда.

Проведенное исследование показало, что точность прогнозирования определяется не столько сложностью моделей, сколько качеством и характеристиками исходных данных. Ни один из рассмотренных источников (ГСЗ и ОПВ) не обеспечивает полноты информации о рынке труда: данные ГСЗ оптимальны для количественного прогнозирования, но не отражают реальный спрос работодателей; данные ОПВ позволяют отслеживать оперативные тенденции, но нестабильны для долгосрочных прогнозов. Это указывает на необходимость системного подхода к совершенствованию информационного обеспечения, который объединит преимущества обоих источников и устранил их ограничения.

Таким образом, можно выделить следующие основные направления улучшения информационного обеспечения и снижения несоответствий на рынке труда Республики Беларусь:

1. Расширение информационной базы за счет интеграции альтернативных источников данных. Традиционные статистические источники должны быть дополнены систематическим сбором и анализом данных из онлайн-источников. Онлайн-платформы вакансий содержат большие объемы информации о текущем спросе на рабочую силу, включая детальные требования к навыкам, предлагаемые уровни заработной платы, территориальное и отраслевое распределение вакансий. Систематический сбор и анализ этих данных с применением технологий веб-скрейпинга и обработки естественного языка позволяет получать оперативную информацию о состоянии рынка труда с временным лагом в несколько дней (Cedefop et al., 2016; ILO, 2022; Podjanin et al., 2020; Tzimas et al., 2024, Ванкевич и Калиновская, 2024). Данные поисковых систем, в частности Google Trends, также доказали свою эффективность в качестве опережающих индикаторов изменений на рынке труда (Simionescu, 2024; Adu, Appiahene and Afrifa, 2023; D'Amuri and Marcucci, 2017; Куровский, 2019; Юревич и Ахмадеев, 2021; Mulero, Garcia-Hiernaux, 2023; Costa, Silva and Galvão, 2024). В контексте Республики Беларусь было продемонстрировано, что модель SARIMAX с включением данных поисковых запросов Google Trends превосходит классические модели прогнозирования безработицы, демонстрируя минимальные ошибки прогноза (Зайцева, 2025а). Полученные результаты подчеркивают значимость комбинирования традиционных данных с цифровыми метриками для повышения точности прогнозов.

2. Совершенствование методологии анализа и прогнозирования рынка труда. Традиционные эконометрические методы (модели ARIMA, VAR, регрессионный анализ) должны быть дополнены современными методами машинного обучения и искусственного интеллекта. Исследования демонстрируют, что модели машинного обучения, такие как LSTM (Long Short-Term Memory) нейронные сети, XGBoost, Random Forest, при применении к прогнозированию показателей рынка труда часто демонстрируют более высокую точность по сравнению с традиционными методами, особенно при наличии больших объемов данных и сложных нелинейных зависимостей (Senthurvelautham, Senanayake, 2023; Maigur, 2024; Дохолян, Полбин, 2019; Зайцева, 2025b). Гибридные подходы, комбинирующие традиционные эконометрические модели с методами машинного обучения, позволяют объединить преимущества обоих подходов

(Cedefop, 2023; Thejovathi et al., 2024; Atesongun & Gulsen, 2024) – теоретическую обоснованность и интерпретируемость эконометрических моделей с высокой прогностической способностью моделей машинного обучения. Особое внимание должно быть уделено прогнозированию потребностей в навыках (skills anticipation), что является одной из наиболее сложных задач в области информационного обеспечения рынка труда. Международная практика демонстрирует использование комплекса методов, включающих количественные модели (модели спроса и предложения рабочей силы, input-output модели, модели общего равновесия), качественные методы (метод Дельфи, экспертные панели, фокус-группы с работодателями), смешанные подходы (сценарное планирование, форсайт-исследования)^{7,8,9}. Применение методов обработки естественного языка к анализу текстов вакансий позволяет идентифицировать востребованные навыки, отслеживать динамику изменения требований к навыкам, выявлять появляющиеся навыки.

3. Создание институциональной инфраструктуры для информационного обеспечения рынка труда. Международный опыт свидетельствует о необходимости формирования интегрированной экосистемы информационного обеспечения рынка труда^{10,11}, в которой различные компоненты взаимодействуют и дополняют друг друга, обеспечивая создание синергетического эффекта. Глобальным трендом последних лет является создание

комплексных информационно-аналитических систем рынка труда (ИАСРТ), интегрирующих множественные источники данных и использующих передовые аналитические методы. Согласно определению Международной организации труда, информационно-аналитическая система рынка труда представляет собой сеть институтов, лиц и информации со взаимно признанными ролями, соглашениями и функциями для производства, хранения, распространения и использования информации, связанной с рынком труда, с целью максимизации потенциала формулирования политики и программ. Основное назначение ИАСРТ заключается в производстве информации и анализа для заинтересованных сторон, что подтверждается опытом Европейской обсерватории занятости, которая вносит существенный вклад в Европейскую стратегию занятости посредством предоставления актуальной информации, проведения исследований и оценки политики занятости¹². Анализ международной практики показывает, что эффективные ИАСРТ используют множественные источники данных, включающие традиционные статистические обследования (обследования рабочей силы, обследования предприятий, переписи населения), административные данные (реестры социального страхования, налоговые данные, данные служб занятости), специализированные обследования (обследования дефицита навыков, исследования качества рабочих мест), а также альтернативные источники данных, включая онлайн-вакансии, данные поисковых систем, информацию из социальных сетей. Интеграция больших данных и применение методов искусственного интеллекта позволяют получать информацию о рынке труда в режиме, близком к реальному времени, что радикально повышает ценность информации для принятия решений (Vankevich and Kalinouskaya, 2021; Ванкевич и Калиновская, 2024). Эффективная ИАСРТ требует четкого распределения ролей и ответственности между различными институтами, механизмов координации и обмена данными, обеспечения качества данных и метаданных. Международный опыт свидетельствует о разнообразии институциональных моделей: в одних странах функции ИАСРТ централизованы в рамках одного агентства (например, службы занятости), в других – распределены между несколькими институтами с механизмами координации (ETF, 2017a). Важным элементом институ-

⁷ Cedefop (2023) Skills Forecast: Methodological Framework [online]. Available at: https://www.cedefop.europa.eu/files/skills_forecast_methodological_framework.pdf (Accessed: 28 October 2025).

⁸ Cedefop, ILO, ETF and OECD (2016) Developing skills foresights, scenarios and forecasts - Guide to anticipating and matching skills and jobs Vol. 2. European Training Foundation. Available at: https://www.cedefop.europa.eu/files/2216_en.pdf (Accessed: 15 November 2025).

⁹ OECD (2017) Getting Skills Right: Skills for Jobs Indicators [online]. Available at: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2017/07/getting-skills-right-skills-for-jobs-indicators_g1g7b8c1/9789264277878-en.pdf (Accessed: 28 October 2025).

¹⁰ European Training Foundation (ETF) (2017) Labour Market Information Systems: Background Note [online]. Available at: https://www.etf.europa.eu/sites/default/files/m/466C7A2340B-3DAE0C12580E60049FC1D_LMIS.pdf (Accessed: 20 November 2025).

¹¹ OECD (2019), Getting Skills Right: Future-Ready Adult Learning Systems, Getting Skills Right, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/9789264311756-en>.

¹² <https://ilostat.ilo.org/resources/labour-market-information-systems/>.

циональной инфраструктуры является вовлечение социальных партнеров – представителей работодателей и работников – в процессы планирования, реализации и использования ИАСРТ, что обеспечивает релевантность производимой информации потребностям пользователей.

4. Обеспечение доступности информации о рынке труда для различных категорий пользователей. Создание открытых порталов данных о рынке труда с интуитивно понятными интерфейсами, интерактивными визуализациями и возможностями настройки запросов под конкретные потребности пользователей способствует расширению использования информации о рынке труда. Опыт таких платформ, как O*NET (США), SkillsFuture (Сингапур), Job Outlook (Австралия), демонстрирует высокую востребованность качественной информации о рынке труда среди молодежи, выбирающей образовательные и карьерные траектории, взрослого населения, рассматривающего возможности переквалификации, работодателей, планирующих кадровую политику, консультантов по карьере и других специалистов^{13,14}.

5. Развитие аналитического потенциала и компетенций в области анализа рынка труда. Эффективное использование современных методов анализа больших данных, машинного обучения и эконометрического моделирования требует наличия квалифицированных специалистов. Инвестиции в развитие человеческого капитала, включая обучение специалистов современным методам анализа данных, создание аналитических центров компетенций, развитие сотрудничества с университетами и исследовательскими институтами, являются необходимым условием для успешного функционирования ИАСРТ.

Реализация перечисленных направлений должна осуществляться в рамках комплексной стратегии цифровой трансформации информационного обеспечения рынка труда, предусматривающей поэтапное развитие систем, начиная с создания базовой инфраструктуры и

постепенно наращивая функциональность и сложность аналитических инструментов. Международный опыт свидетельствует, что создание эффективной ИАСРТ является долгосрочным процессом, требующим устойчивой политической и финансовой поддержки, гибкости и способности к адаптации в ответ на изменяющиеся потребности и технологические возможности.

Заключение

Основной результат исследования подтверждает, что различные источники данных о рынке труда имеют специфические характеристики, определяющие их оптимальное применение. Данные ГСЗ обеспечивают высокую точность количественного прогнозирования (MAPE 3,15 % для гибридной модели) благодаря стабильности и надежности временных рядов, что делает их оптимальным инструментом для среднесрочного планирования. Данные ОПВ, характеризующиеся высокой оперативностью и чувствительностью к изменениям, представляют особую ценность для раннего выявления трендов, мониторинга текущей конъюнктуры и качественного анализа структуры спроса на компетенции. Оба источника являются взаимодополняющими элементами информационного обеспечения рынка труда.

Методический вывод заключается в том, что гибридные модели, объединяющие классические эконометрические подходы SARIMAX с современными методами машинного обучения XGBoost, на качественных данных обеспечивают высокую точность прогнозов (MAPE около 3,1–3,2 %). Эти модели превосходят как традиционные временные ряды, так и отдельные алгоритмы машинного обучения, что свидетельствует о перспективности комбинированных подходов в анализе рынка труда.

Результаты исследования согласуются с международной практикой использования онлайн-данных для анализа рынка труда (Podjanin et al., 2020; Tzimas et al., 2024; Rahhal et al., 2024; Vankevich and Kalinouskaya, 2021) и подтверждают выводы о необходимости совершенствования методологии анализа конъюнктуры рынка труда в условиях цифровизации (Ванкевич и Калиновская, 2022, 2024; Зайцева, 2025с). Данные ОПВ следует рассматривать как важный компонент комплексной системы мониторинга рынка труда, обеспечивающий оперативность, детализацию требований к навыкам и раннее выявление изменений, дополняя количественные прогнозы на основе данных ГСЗ.

¹³ National Skills Commission of Australian Government (2022) Australia's Current, Emerging and Future Workforce Skills Needs / Jobs and Skills Australia [online]. Available at: https://www.jobsandskills.gov.au/sites/default/files/2025-04/australias_current_emerging_and_future_workforce_skills_needs.pdf (Accessed: 28 October 2025).

¹⁴ Singapore Government Agency (2025) Skills Demand for the Future Economy Report 2025 [online]. Available at: <https://jobsandskills.skillsfuture.gov.sg/sdfe-2025> (Accessed: 28 October 2025).

Интеграция данных ГСЗ и ОПВ в рамках комплексной информационно-аналитической системы рынка труда позволит использовать преимущества каждого источника: стабильность и надежность официальной статистики для среднесрочного количественного прогнозирования и планирования подготовки кадров, а также оперативность и детализацию онлайн-данных для мониторинга текущей конъюнктуры, выявления новых требований к компетенциям и раннего обнаружения структурных изменений на рынке труда. Такой комплексный подход обеспечит более полное и точное информационное

обеспечение всех заинтересованных сторон – органов государственного управления, учреждений образования, работодателей и соискателей.

Перспективы дальнейших исследований связаны с углублением отраслевой и региональной детализации прогнозов, расширением набора цифровых источников, включая социальные сети и административные данные, разработкой моделей прогнозирования спроса на конкретные профессии и компетенции, а также интеграцией этих моделей в информационно-аналитическую систему рынка труда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ванкевич, Е.В. и Калиновская, И.Н. (2022). Изменение подходов к анализу конъюнктуры рынка труда в условиях цифровизации экономики (на примере текстильной промышленности Республики Беларусь), *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 5 (401), с. 27–37.

Ванкевич, Е.В. и Калиновская, И.Н. (2024). Использование больших данных при анализе рынка труда: теоретические подходы и методические инструменты, *Цифровая трансформация*, 30 (4), с. 23–32.

Дохолян, В.С. и Полбин, А.В. (2019). Применение методов машинного обучения для прогнозирования циклической безработицы, *Региональные проблемы преобразования экономики*, 4(102), с. 64–76.

Зайцева, О.В. (2025a). Прогнозирование безработицы в Республике Беларусь с использованием данных поисковых запросов Google Trends, *Journal of New Economy*, 26(2), с. 45–63.

Зайцева, О.В. (2025b). Прогнозирование спроса на рынке труда Республики Беларусь с использованием технологий машинного обучения, *Инновационные доминанты социально-трудовой сферы: экономика и управление: материалы 25 Юбилейной Международной научно-практической конференции, Воронеж, 29-30 мая 2025 г.*, Воронеж: ВГУ, с. 121–125.

Зайцева, О.В. (2025c). Онлайн-источники данных о рынке труда: классификация, характеристики и подходы к ранжированию, *Белорусский экономический журнал*, 3, с. 69–82. DOI: 10.46782/1818-4510-2025-3-69-82.

Куровский, Г.С. (2019). Использование текстовой информации для прогнозирования в макроэкономике, *Вестник Московского университета. Серия 6. Экономика*, 6, с. 39–58. DOI: 10.38050/01300105201965.

Юревич, М.А. и Ахмадеев, Д.Р. (2021). Возможности прогнозирования уровня безработицы на основе анализа статистики запросов (в поисковых системах), *Terra Economicus*, 19(3), с. 53–64. <https://doi.org/10.18522/2073-6606-2021-19-3-53-64>.

Adu, W.K., Appiahene, P. and Afrifa, S. (2023). VAR, ARIMAX and ARIMA models for nowcasting unemployment rate in Ghana using Google Trends, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 10, 12. DOI: 10.1186/s43067-023-00078-1.

Anesti, N., Kalamara, E. and Kapetanios, G. (2024). Forecasting with Machine Learning methods and multiple large datasets, *Econometrics and Statistics*. DOI: 10.1016/j.ecosta.2024.08.003.

Atesongun, A. and Gulsen, M. (2024). A Hybrid Forecasting Structure Based on Arima and Artificial Neural Network Models, *Applied Sciences*, 14(16), 7122. DOI: 10.3390/app14167122.

Brynjolfsson, E., Rock, D. and Tambe, P. (2019). How Will Machine Learning Transform the Labor Market? *Governance in an Emerging New World*, Hoover Institution, Stanford University, pp. 1–14.

Cajner, T., Crane, L.D., Decker, R.A., Hamins-Puertolas, A. and Kurz, C. (2020). Tracking Labor Market Developments during the COVID-19 Pandemic: A Preliminary Assessment, *Finance and Economics Discussion Series*, 2020-030. Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System. DOI: 10.17016/FEDS.2020.030.

- Costa, E.A., Silva, M.E. and Galvão, A.B. (2024). Real-time nowcasting the monthly unemployment rates with daily Google Trends data, *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101963.
- D'Amuri, F. and Marcucci, J. (2017). The predictive power of Google searches in forecasting unemployment, *International Journal of Forecasting*, 33(4), pp. 801–816. doi: 10.1016/j.ijforecast.2017.03.004.
- Horton, J.J. and Tambe, P. (2015). Labor Economists Get Their Microscope: Big Data and Labor Market Analysis, *Big Data*, 3(3), pp. 130–137. doi: 10.1089/big.2015.0017.
- Maigur, A.A. (2024). Machine learning algorithms for predicting unemployment duration in Russia, *Russian Journal of Economics*, 10(4), pp. 365–384. doi: 10.32609/j.ruje.10.128611.
- Mulero, R. and Garcia-Hiernaux, A. (2023). Forecasting unemployment with Google Trends: Age, gender and digital divide, *Empirical Economics*, 65, pp. 587–605. doi: 10.1007/s00181-022-02347-w.
- Nontapa, C., Kesamoon, C., Kaewhawong, N. and Intrapai boon, P. (2020). A New Time Series Forecasting Using Decomposition Method with SARIMAX Model, in Yang, H. et al. (eds.) *Neural Information Processing. ICONIP 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1333. Cham: Springer, pp. 743–751. doi: 10.1007/978-3-030-63823-8_84.
- Orozco-Castañeda, J.M., Sierra-Suárez, L.P. and Vidal, P. (2024). Labor market forecasting in unprecedented times: A machine learning approach, *Bulletin of Economic Research*, 76(2), pp. 451–478. doi: 10.1111/boer.12451.
- Podjanin, A., Pouliakas, K. and Van Loo, J. (2020). *The feasibility of using big data in anticipating and matching skills needs*. Geneva: International Labour Organization. Available at: <https://www.ilo.org/publications/feasibility-using-big-data-anticipating-and-matching-skills-needs> (Accessed: 23 November 2025).
- Rahhal, I., Kassou, I. and Ghogho, M. (2024). Data science for job market analysis: A survey on applications and techniques, *Expert Systems with Applications*, 251, 124101. doi: 10.1016/j.eswa.2024.124101.
- Senthurvelautham, S. and Senanayake, N. (2023). A machine learning-based job forecasting and trend analysis system to predict future job markets using historical data, *Proceedings of the 8th IEEE International Conference for Convergence in Technology 2023 (ICT 2023), 7-9 April 2023, Pune, India*. Piscataway: IEEE, 10126233. doi: 10.1109/ICT57861.2023.10126233.
- Simionescu, M. (2024). Is Google Trends useful in nowcasting unemployment rate during the pandemic at regional and national level in Romania? *Romanian Statistical Review*, (1), pp. 65–84.
- Thejovathi, M., Rao, M.V.P.C., Priyadharsini, E.J., Siddi, S., Karthik, B. and Abbas, S.H. (2024). Optimizing Product Demand Forecasting with Hybrid Machine Learning and Time Series Models: A Comparative Analysis of XGBoost and SARIMA, *Proceedings of the 3rd International Conference on Optimization Techniques in the Field of Engineering (ICOFE-2024)*, pp. 1–11.
- Turulja, L., Suša Vugec, D. and Pejić Bach, M. (2023). 'Big Data and Labour Markets: A Review of Research Topics, *Procedia Computer Science*, 217, pp. 526–535. doi: 10.1016/j.procs.2022.12.248.
- Tzimas, G., Zotos, N., Mourelatos, E., Giotopoulos, K.C. and Zervas, P. (2024). From Data to Insight: Transforming Online Job Postings into Labor-Market Intelligence, *Information*, 15(8), 496. doi: 10.3390/info15080496.
- Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2021). Better understanding of the labour market using Big Data, *Ekonomia i Prawo*, 20(3), pp. 677–692. doi: 10.12775/eip.2021.040.

REFERENCES

- Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2022). Changing approaches to analyzing labor market conditions in the context of digitalization of the economy (using the example of the textile industry of the Republic of Belarus) [Izmenenie podhodov k analizu kon'yunktury rynka truda v usloviyah cifrovizacii ekonomiki (na primere tekstil'noj promyshlennosti Respubliki Belarus)]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 5 (401), pp. 27–37 (In Russian).
- Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2024). Use of Big Data in labor market analysis: theoretical approaches and methodological tools [Ispol'zovaniye bol'shikh dannyykh pri analize rynka truda: teoreticheskiye podkhody i metodicheskiye

instrumenty]. *Tsifrovaya transformatsiya = Digital Transformation*, 30(4), pp. 23–32 (In Russian).

Dokholyan, V.S. and Polbin, A.V. (2019). Application of machine learning methods for forecasting cyclical unemployment [Primeneniye metodov mashinnogo obucheniya dlya prognozirovaniya tsiklicheskoy bezrabotitsy]. *Regional'nyye problemy preobrazovaniya ekonomiki = Regional Problems of Economic Transformation*, no. 4(102), pp. 64–76 (In Russian).

Zaitseva, O.V. (2025a). Forecasting unemployment in the Republic of Belarus using Google Trends data [Prognozirovaniye bezrabotitsy v Respublike Belarus' s ispol'zovaniyem dannyykh poiskovykh zaprosov Google Trends]. *Journal of New Economy*, 26(2), pp. 45–63 (In Russian).

Zaitseva, O.V. (2025b). Forecasting labor market demand in the Republic of Belarus using machine learning technologies [Prognozirovaniye sprosa na rynke truda Respubliki Belarus' s ispol'zovaniyem tekhnologiy mashinnogo obucheniya]. *Innovatsionnyye dominanty sotsial'no-trudovoy sfery: ekonomika i upravleniye: materialy 25 Yubileynoy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Voronezh, 29-30 maya 2025 g. = Innovative Dominants of the Social and Labor Sphere: Economics and Management : Proceedings of the 25th Anniversary International Scientific and Practical Conference, Voronezh, May 29-30, 2025*, pp. 121–125 (In Russian).

Zaitseva, O.V. (2025c). Online data sources on the labor market: classification, characteristics and ranking approaches [Onlayn-istochniki dannyykh o rynke truda: klassifikatsiya, kharakteristiki i podkhody k ranzhirovaniyu]. *Belorusskiy ekonomicheskii zhurnal = Belarusian Economic Journal*, no. 3, pp. 69–82 (In Russian). DOI: 10.46782/1818-4510-2025-3-69-82.

Kurovskiy, G.S. (2019). Use of textual information for forecasting in macroeconomics [Ispol'zovaniye tekstovoy informatsii dlya prognozirovaniya v makroekonomike]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6. Ekonomika = Moscow University Economics Bulletin. Series 6. Economics*, no. 6, pp. 39–58 (In Russian). DOI: 10.38050/01300105201965.

Yurevich, M.A. and Akhmadeev, D.R. (2021). Possibilities for forecasting the unemployment rate based on the analysis of query statistics [in search engines] [Vozmozhnosti prognozirovaniya urovnya bezrabotitsy na osnove analiza statistiki zaprosov (v poiskovykh sistemakh)]. *Terra Economicus = Terra Economicus*, vol. 19, no. 3, pp. 53–64 (In Russian). DOI: 10.18522/2073-6606-2021-19-3-53-64.

Adu, W.K., Appiahene, P. and Afrifa, S. (2023). VAR, ARIMAX and ARIMA models for nowcasting unemployment rate in Ghana using Google Trends, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 10, 12. DOI: 10.1186/s43067-023-00078-1.

Anesti, N., Kalamara, E. and Kapetanios, G. (2024). Forecasting with Machine Learning methods and multiple large datasets, *Econometrics and Statistics*. DOI: 10.1016/j.ecosta.2024.08.003.

Atesongun, A. and Gulsen, M. (2024). A Hybrid Forecasting Structure Based on Arima and Artificial Neural Network Models, *Applied Sciences*, 14(16), 7122. DOI: 10.3390/app14167122.

Brynjolfsson, E., Rock, D. and Tambe, P. (2019). How Will Machine Learning Transform the Labor Market? *Governance in an Emerging New World*, Hoover Institution, Stanford University, pp. 1–14.

Cajner, T., Crane, L.D., Decker, R.A., Hamins-Puertolas, A. and Kurz, C. (2020). Tracking Labor Market Developments during the COVID-19 Pandemic: A Preliminary Assessment, *Finance and Economics Discussion Series*, 2020-030. Washington: Board of Governors of the Federal Reserve System. DOI: 10.17016/FEDS.2020.030.

Costa, E.A., Silva, M.E. and Galvão, A.B. (2024). Real-time nowcasting the monthly unemployment rates with daily Google Trends data, *Socio-Economic Planning Sciences*, 95, 101963.

D'Amuri, F. and Marcucci, J. (2017). The predictive power of Google searches in forecasting unemployment, *International Journal of Forecasting*, 33(4), pp. 801–816. doi: 10.1016/j.ijforecast.2017.03.004.

Horton, J.J. and Tambe, P. (2015). Labor Economists Get Their Microscope: Big Data and Labor Market Analysis, *Big Data*, 3(3), pp. 130–137. doi: 10.1089/big.2015.0017.

Maigur, A.A. (2024). Machine learning algorithms for predicting unemployment duration in Russia, *Russian Journal of Economics*, 10(4), pp. 365–384. doi: 10.32609/j.ruje.10.128611.

Mulero, R. and Garcia-Hiernaux, A. (2023). Forecasting unemployment with Google Trends: Age, gender and digital divide, *Empirical Economics*, 65, pp. 587–605. doi: 10.1007/s00181-022-02347-w.

Nontapa, C., Kesamoon, C., Kaewhawong, N. and Intrapai boon, P. (2020). A New Time Series Forecasting Using Decomposition Method with SARIMAX Model, in Yang, H. et al. (eds.) *Neural Information Processing. ICONIP 2020. Communications in*

Computer and Information Science, vol. 1333. Cham: Springer, pp. 743–751. doi: 10.1007/978-3-030-63823-8_84.

Orozco-Castañeda, J.M., Sierra-Suárez, L.P. and Vidal, P. (2024). Labor market forecasting in unprecedented times: A machine learning approach, *Bulletin of Economic Research*, 76(2), pp. 451–478. doi: 10.1111/boer.12451.

Podjanin, A., Pouliakas, K. and Van Loo, J. (2020). *The feasibility of using big data in anticipating and matching skills needs*. Geneva: International Labour Organization. Available at: <https://www.ilo.org/publications/feasibility-using-big-data-anticipating-and-matching-skills-needs> (Accessed: 23 November 2025).

Rahhal, I., Kassou, I. and Ghogho, M. (2024). Data science for job market analysis: A survey on applications and techniques, *Expert Systems with Applications*, 251, 124101. doi: 10.1016/j.eswa.2024.124101.

Senthurvelautham, S. and Senanayake, N. (2023). A machine learning-based job forecasting and trend analysis system to predict future job markets using historical data, *Proceedings of the 8th IEEE International Conference for Convergence in Technology 2023 (I2CT 2023), 7-9 April 2023, Pune, India*. Piscataway: IEEE, 10126233. doi: 10.1109/I2CT57861.2023.10126233.

Simionescu, M. (2024). Is Google Trends useful in nowcasting unemployment rate during the pandemic at regional and national level in Romania? *Romanian Statistical Review*, (1), pp. 65–84.

Thejovathi, M., Rao, M.V.P.C., Priyadharsini, E.J., Siddi, S., Karthik, B. and Abbas, S.H. (2024). Optimizing Product Demand Forecasting with Hybrid Machine Learning and Time Series Models: A Comparative Analysis of XGBoost and SARIMA, *Proceedings of the 3rd International Conference on Optimization Techniques in the Field of Engineering (ICOFE-2024)*, pp. 1–11.

Turulja, L., Suša Vugec, D. and Pejić Bach, M. (2023). 'Big Data and Labour Markets: A Review of Research Topics, *Procedia Computer Science*, 217, pp. 526–535. doi: 10.1016/j.procs.2022.12.248.

Tzimas, G., Zotos, N., Mourelatos, E., Giotopoulos, K.C. and Zervas, P. (2024). From Data to Insight: Transforming Online Job Postings into Labor-Market Intelligence, *Information*, 15(8), 496. doi: 10.3390/info15080496.

Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2021). Better understanding of the labour market using Big Data, *Ekonomia i Prawo*, 20(3), pp. 677–692. doi: 10.12775/eip.2021.040.

Информация об авторах

Information about the authors

Зайцева Ольга Вячеславовна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: olgazaitseva@gmail.com

Olga V. Zaitseva

Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: olgazaitseva@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 текста 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 отчет 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, Antiplagiatus, 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 подрисуючную 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 подрисуючные 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 пр., 72, Берашевич Ирине Васильевне. Электронный вариант материалов допускается направлять по электронной почте на адрес vestnik-vstu@yandex.by ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

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 издаются 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. <i>Название издания курсивом</i> , vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи.
Книга	Фамилия, И.О. (год). <i>Название курсив</i> . 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]. <i>Название издания в транслитерации</i> = <i>на английском языке курсивом</i> , vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи (In Russian).
Книга	Фамилия, И.О. (год). <i>Название в транслитерации курсивом</i> [Название на английском языке]. Город: издательство, страна (In Russian).

то по названию). В начале списка перечисляются русскоязычные источники, затем иностранные.

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.emeraldgroupublishing.com/how-to/authoring-editing-reviewing/use-harvard-reference-system>.