

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 (51)

ВИТЕБСК 2025

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

BULLETIN

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 1 (51)

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, доцент, академик-секретарь Отделения химии и наук о Земле (НАН Беларуси, Республика Беларусь)
- Шут В.Н., д-р физ.-мат. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Щербина Л.А., канд. техн. наук, доцент (БГУТ, Республика Беларусь)

Экономика

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

Журнал включен в перечень научных изданий Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, в информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования», наукометрические базы Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), 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.

©УО «Витебский государственный
технологический университет», 2025

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)
- Alex V. Trukhanov, Dr. Sc. (Phys.-Mat), Associate Professor, Academician-Secretary of the Department of Chemistry and Earth Sciences (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

Александр Григорьевич Коган – основатель Витебской научной текстильной школы	10
Горбачик Владимир Евгеньевич – учёный, педагог, профессионал обувного производства	13

Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

Пророкова Н. П., Вавилова С. Ю., Бузник В. М. Получение и свойства полипропиленовой нити с многофункциональным покрытием на основе политетрафторэтилена	16
Радюк А. Н., Борисова Т. М., Нейфельд М. А., Буркин А. Н. Разработка методики определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью	26
Акиндинова Н. С. Проектирование структуры многофактурной льносодержащей ткани	38
Петухов А. Н. Влияние предварительного натяжения на значение индекса передачи теплового излучения огнезащитного трикотажного полотна	54
Пряник Н. Н., Борозна В. Д., Буркин А. Н. Анализ и совершенствование методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви	64

Химическая технология

Федарович Е. Г., Левданский А. Э., Ковалева А. А. Способ переработки отходов производства стеклопластиков	77
Пчелова Н. В., Щербина Л. А., Будкуте И. А., Козловская И. С. Влияние кислотного сомомера на свойства полиакрилонитрильных волокон, получаемых по диметилформамидному способу	90
Пророкова Н. П., Кумеева Т. Ю., Кирюхин Д. П. Гидрофобизация полиэфирных тканей с использованием теломеров тетрафторэтилена	101

Грузневич Е. С.

Нефинансовая отчетность: содержание, развитие, международные стандарты
и информационная база для их применения субъектами хозяйствования Беларуси..... 111

Яшева Г. А., Вайлунова Ю. Г., Вардомацкая Е. Ю., Шерстнева О. М.

Экономико-статистическое исследование влияния цифровизации на инновационную
активность организаций промышленности Союзного государства..... 130

Зеленкевич М. Л., Стаховяк Б.

Энергетическая безопасность и энергетическая трансформация как импульсы
глобальных, региональных и национальных цивилизационных вызовов 149

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 169

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ
ИСТОЧНИКОВ..... 172

CONTENTS

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

Alexander Kogan: founder of the Vitebsk scientific textile school	10
Vladimir E. Gorbachik: scientist, educator, and footwear industry leader	13

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

Natalia P. Prorokova, Svetlana Yu. Vavilova, Veacheslav M. Bouznik Polypropylene yarns with multifunctional coating based on polytetrafluoroethylene	16
Anastasia N. Radyuk, Tatsiana M. Borisova, Maria A. Neufeld, Alexander N. Burkin Development of a method for determining the contact spot of the shoe sole with the supporting surface.....	26
Natallia S. Akindzinava Designing the structure of a multi-textured flax-containing fabric	38
Aleksandr N. Petukhov Pre-tension load of resistant knitted fabric influence on radiant heat transfer index	54
Natalia N. Pryanik, Vilia D. Borozna, Alexander N. Burkin Analysis and improvement of the methodology of estimation of strength of threaded joints of shoe upper parts	64

Chemical Engineering

Evgeniy G. Fedarovich, Alexander E. Levdanski, Anastasiya A. Kovaleva Method for recycling waste generated in the production of fiberglass-reinforced plastic.....	77
Natallia V. Pchalova, Leonid A. Shcherbina, Iryna A. Budkute, Iryna S. Kozlovskaya The influence of acidic comonomer on the properties of polyacrylonitrile fibers produced by the dimethylformamide method.....	90
Natalia P. Prorokova, Tatyana Yu. Kumeeva, Dmiriy P. Kiruchin Hydrophobization of polyester fabrics using tetrafluoroethylene telomers	101

Katsiaryna S. Gruznevich

Non-financial reporting: content, development, international standards and information base for their application by business entities in Belarus 111

Galina A. Yasheva, Yulia G. Vailunova, Elena Yu. Vardomatskaya, Olga M. Sherstneva

Economic and statistical study of the impact of digitalization on innovation activity of industrial organizations of the Union State 130

Marina L. Zelenkevich, Bartosz Stachowiak

Energy security and energy transformation as impulses of global, regional and national civilization challenges 149

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL

"BULLETIN OF STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY" 169

PREPARATION OF LINKS TO SOURCES AND A LIST OF REFERENCES.....172

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.).

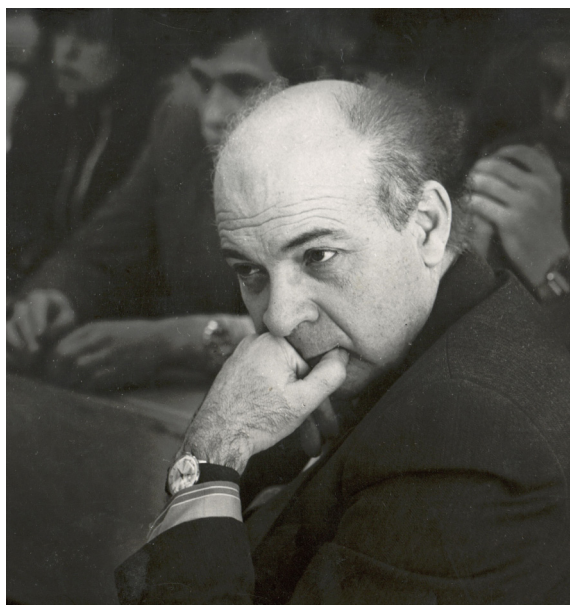
С учетом значительного вклада научных школ в научно-педагогическую и инновационную деятельность в каждом выпуске научно-технического журнала «Вестник Витебского государственного технологического университета» в течение юбилейного года будут публиковаться статьи, посвященные их основателям и наиболее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

Ректор университета,
главный редактор

А.А.Кузнецов

Александр Григорьевич Коган – основатель Витебской научной текстильной школы

Сегодня невозможно представить себе Витебский государственный технологический университет без текстильной научной школы, созданной Александром Григорьевичем Коганом более 50 лет назад.



Когда в 1968 году Александр Григорьевич приехал в Витебск, в недавно открывшемся Витебском технологическом институте легкой промышленности еще не осуществлялась подготовка инженеров, ни для прядильного, ни для ткацкого производства. До приезда в Витебск Александр Григорьевич пошел путь, насыщенный событиями, оказавшими значительное влияние на его характер и на отношение к делу его жизни.

В 1949 году Александр Григорьевич поступил в Московский текстильный институт. Но он не был простым выпускником средней школы. Во время Великой Отечественной войны с 14 лет он являлся связным начальника эвакогоспиталя 1648 1-го Белорусского фронта при действующей Красной Армии.

После окончания текстильного института Александр Григорьевич был распределен в Кострому на фабрику «Знамя труда», где начинал работать в должности мастера, затем стал начальником цеха.

В 1957 году он с семьей вернулся в родной город Прилуки Черниговской области, где приступил к работе в должности начальника цеха чулочной фабрики, а через год перешел на должность главного инженера Прилукской хлопкопрядильной фабрики.

Еще работая на производстве, он начал активно заниматься разработкой и внедрением новых технологий. В период работы главным инженером фабрики им разработана технология изготовления хлопко-капроновой нити для трикотажного производства. Увлеченность научными исследованиями для решения практических задач способствовала тому, что Александр Григорьевич подготовил и защитил без отрыва от основной работы кандидатскую диссертацию на тему «Производство хлопкокапроновой пряжи».

В 1968 году, когда активно формировался кадровый состав преподавателей Витебского технологического института легкой промышленности, Александр Григорьевич был приглашен на должность старшего преподавателя кафедры материаловедения. Уже через год он возглавил кафедру механической технологии волокнистых материалов. С именем Александра Григорьевича связано создание в БССР высшего текстильного образования.

С первых лет работы в университете, Александр Григорьевич проявил себя как талантливый педагог. Сочетание высокого профессионализма, глубоких теоретических знаний и многолетнего практического опыта, а также природного артистизма всегда привлекало студентов на его лекции, поддерживало интерес к излагаемому материалу.

Являясь заведующим кафедрой в течение 45 лет, он уделял большое внимание оснащению лабораторий, укреплению связей с промышленностью и подготовке кадров высшей научной квалификации, в результате чего была создана научная школа в области технологий текстильных материалов.

Деятельность Александра Григорьевича стала одной из основ создания и развития в институте аспирантуры. Важно отметить, что он любил привлекать в аспирантуру выпускников самых разнообразных специальностей, чтобы работа проводилась на основе широкого спектра знаний и навыков молодых исследователей. Разнообразие компетенций его учеников и подходов к проведению



Коллектив кафедры «Прядение натуральных и химических волокон», 1997 год

исследований стало одной из сильных сторон и особенностей созданной научной школы.

В течение всей своей деятельности Александр Григорьевич старался совмещать теорию и практику, поддерживать связи с производством, при этом постоянно генерируя идеи, которые выходят далеко за пределы

привычных технических решений. Тематика его работ с одной стороны являлась актуальной для отечественных текстильных предприятий, а с другой – отражала современные мировые тенденции развития отрасли. Среди направлений работы Александра Григорьевича и его учеников можно выделить создание новых технологий производства комбинированных нитей различными способами формирования, технология пневмотекстирования комплексных химических нитей, технологии производства пряж с использованием отходов текстильного производства, технологии производства высокорастяжимых, высокообъемных, меланжевых, льносодержащих, огнестойких нитей, новых видов текстильных материалов, предложения по созданию однопереходной системы прядения и многое другое.

Благодаря ярким организаторским способностям и умением увлечь людей, Александр Григорьевич всегда проводил описанные работы совместно с группой единомышленников. В рамках научной школы разработаны теоретические и практические основы технологий производства нитей, в состав которых входят как натуральные и химические волокна, так и комплексные хи-



Научная школа А. Г. Когана, 2025 год



мические нити, сформулированы принципы прогнозирования их свойств и выбора технологических режимов их производства.

Большое внимание Александр Григорьевич уделяет проблеме переработки исконно белорусского сырья – льняного волокна. Разработаны технологии производства хлопкольняной пряжи с использованием традиционных способов формирования, пневматический способ формирования льносодержащих комбинированных нитей, в составе которых используются хлопковые, шерстяные и химические волокна в сочетании с льняными волокнами, технология переработки отходов льняного волокна в нетканые материалы. Все это значительно расширило возможности использования льняного волокна при выработке материалов бытового и технического назначения.

Александром Григорьевичем опубликовано около 1200 научных и научно-методических работ, получено более 50 авторских свидетельств и патентов на изобретения и полезные модели.

Роль Александра Григорьевича Когана в развитии университета невозможно переоценить. За весь период своей работы им подготовлено более 30 кандидатов и 2 доктора технических наук. В настоящее время на большинстве кафедр университета работают его ученики, а также ученики его учеников. Это кафедры «Техническое регулирование и товароведение», «Экология и химические технологии», «Конструирование и технологии одежды и обуви» и многие другие. Каждый из них продолжает традиции, заложенные Александром Григорьевичем. При этом тематика и направления

исследований существенно расширяются с учетом новых научных знаний и технических достижений, изменяющейся обстановки в промышленности и образовании, а также собственного круга научных интересов каждого члена научной школы.

Несмотря на свой авторитет, Александр Григорьевич остается чрезвычайно чутким и открытым человеком, готовым всегда прийти на помощь окружающим. Его яркая неординарная личность всегда привлекала к нему людей. Все, кто учился у него или работал с ним, всегда отзываются о нем с уважением и благодарностью. Многие могут с гордостью назвать себя учениками Александра Григорьевича Когана.

Александр Григорьевич Коган награжден правительственными наградами за участие в Великой Отечественной войне и за успешную работу в текстильной промышленности и в высших учебных заведениях, Бронзовой медалью ВДНХ СССР, значком «Выдатнік адукацыі», почетными грамотами Министерства образования Республики Беларусь, концерна «Беллеглапром», Витебского городского исполнительного комитета, Витебского государственного технологического университета. В 2019 году Александру Григорьевичу Когану присуждена премия Правительства Российской Федерации 2019 года и присвоено почётное звание «Лауреат премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники» за научное обоснование и разработку новых инновационных текстильных материалов, спецодежды, униформы и современных технологий их изготовления для решения задач импортозамещения.

**Горбачик Владимир Евгеньевич – учёный, педагог, профессионал
обувного производства**

Горбачик Владимир Евгеньевич был и остаётся значимой фигурой белорусской обувной промышленности. Крупный учёный, талантливый педагог, квалифицированный специалист, единственный в Республике Беларусь доктор технических наук и профессор в области обувного производства – он по праву считается родоначальником белорусской обувной науки.



Владимир Евгеньевич стоял у истоков создания кафедры «Технология и конструирование изделий из кожи» и начала подготовки кадров для отечественной обувной промышленности. Он является основателем обувной научной школы «Качество обуви и её комплекствующих». Именно благодаря настойчивости и инициативе профессора Горбачика В. Е. в 2004 году впервые в республике на базе УО «ВГТУ» была открыта аспирантура по специальности 05.19.06 «Технология обувных и кожевенно-галантерейных изделий» и реализована возможность подготовки научных работников высшей квалификации в области проектирования и технологии обувного производства.

Горбачик Владимир Евгеньевич родился 15 сентября 1939 года в г. Саратов в семье служащих. В 1962 году окончил Московский технологический институт легкой про-

мышленности (МТИЛП) по специальности «Технология изделий из кожи». Свою трудовую деятельность начал на Ленинградской обувной фабрике «Пролетарская Победа № 2», в должности начальника смены. Жажда новых познаний, стремление к самосовершенствованию в 1964 г. привели его в аспирантуру Московского технологического института легкой промышленности, после окончания которой он был направлен на работу в качестве ведущего специалиста в недавно открытый Витебский технологический институт легкой промышленности (ВТИЛП). Здесь, в Витебске, Владимир Евгеньевич обрел вторую родину и всю оставшуюся жизнь посвятил служению науке, развитию университета и подготовке кадров для обувной отрасли республики.

Долгие годы Горбачик Владимир Евгеньевич занимал должность заведующего кафедрой «Конструирование и технология изделий из кожи». Под его руководством создавалась и активно развивалась материально-техническая база кафедры, закладывался прочный фундамент качественной подготовки специалистов для обувной отрасли, формировался квалифицированный профессорско-преподавательский состав. В период с 1975 по 1989 гг. Владимир Евгеньевич работал проректором по научной работе ВТИЛП. С 2018г – профессором кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви».

В 1974 г. Владимиру Евгеньевичу присуждена ученая степень кандидата технических наук, в 1976 г. присвоено ученое звание доцента. Докторскую диссертацию Владимир Евгеньевич защитил в 1998 году в Московской государственной академии легкой промышленности. В 2000 году ему было присвоено ученое звание профессора.

Круг научных интересов Горбачика В. Е. был необычайно широк – разработка теоретических основ и практических рекомендаций в области проектирования и технологии обуви, формирование новых принципов и подходов к комплектации систем верха и низа обуви, разработка инновационных материалов и методик оценки их качества, приборов и устройств для испытания материалов, систем и готовой обуви, методов исследования эргономических свойств обуви и многое другое. Под руководством Владимира Евгеньевича были проведены масштабные исследования особенностей строения и



Преподавательский состав кафедры «Конструирование и технология изделий из кожи»

размеров стоп населения Республики Беларусь с целью совершенствования размерной типологии и разработки рационального размерно-полнотного ассортимента обуви.

В различные периоды своей научной деятельности Горбачик В. Е. являлся руководителем заданий Государственной научно технической программы «Легкая промышленность» и заданий Отраслевой научно-технической программы «Легкая промышленность», руководителем и ответственным исполнителем значительного числа госбюджетных и хоздоговорных НИР. Он активно занимался научно-исследовательской, методической и патентно-лицензионной деятельностью, регулярно выступал с докладами на научных конференциях и симпозиумах, посвященных актуальным проблемам развития легкой промышленности.

Многие его практические разработки были эффективно внедрены в производство. Научные разработки, выполненные под руководством Горбачика В. Е., неоднократно демонстрировались на научно-технических выставках Беларуси, России, Германии.

О большом вкладе Владимира Евгеньевича в развитие науки в Республике Беларусь в области обувного производства говорят его научные работы и публи-

кации: более 10 авторских свидетельств и патентов на изобретения, около 200 научных публикаций, 2 учебных пособия, 1 монография и более 25 учебно-методических пособий и разработок.

Под непосредственным руководством Горбачика Владимира Евгеньевича создана научная школа, восемь сотрудников кафедры успешно выполнили и защитили кандидатские диссертации. Сегодня ученики Владимира Евгеньевича продолжают развивать научную школу и расширять направления исследований с учётом новых научных знаний и развития техники и технологии.

Владимир Евгеньевич отличался широким кругозором, богатым научным и практическим опытом, неисчерпаемым творческим потенциалом, глубокими знаниями, что всегда помогало ему объективно оценивать актуальность проблем, вырабатывать эффективные способы их решения. Он был учёным, не терпящим небрежного отношения к фактам и результатам научных исследований.

Владимир Евгеньевич являлся одарённым педагогом, способным увлечь своих учеников в мир научно-технического творчества, вдохновить их на новые достижения, всегда был для них примером ученого с большой буквы. При этом неизменно оставался доброжелательным и



Научная школа Горбачика В. Е., 2025 год

глубоко порядочным человеком, пользовался заслуженным уважением своих коллег и студентов. Ученики Владимира Евгеньевича сегодня успешно трудятся на всех обувных предприятиях Республики Беларусь на самых различных должностях: от инженера до генерального директора предприятия, и до сих пор вспоминают его с теплотой, уважением и благодарностью.

Являясь практически бессменным заведующим кафедрой, Владимир Евгеньевич осуществлял тесное и плодотворное сотрудничество с большинством обувных предприятий республики, такими как ОАО «Красный Октябрь», ООО «Управляющая компания холдинга «Белорусская кожевенно-обувная компания «Марко», ООО «Белвест» и другими, а также с ведущими профильными вузами Российской Федерации: Московским государственным университетом дизайна и технологии (МГУДТ), Санкт-Петербургским государственным университетом технологии и дизайна, Научно-исследовательским институтом кожевенно-обувной промышленности (НПО ЦНИИКП, г. Москва), Южно-Российским государственным университетом экономики и сервиса (ЮРГУЭС, г. Шахты) и др.

Горбачик В. Е. являлся членом учебно-методического объединения вузов Российской Федерации по образованию в области легкой промышленности (УМОЛегпром), членом редколлегии журнала «Кожа и обувь», оппонентом докторских и кандидатских диссертаций, защищаемых в вузах Республики Беларусь и Российской Федерации, неизменным членом учебно-методических и научных объединений УО «ВГТУ».

Благодаря своему опыту, знаниям и творческому подходу к решению научно-технических проблем Горбачик В. Е. пользовался заслуженным авторитетом среди ученых и в республике, и за ее пределами. С его научными работами знакомы в России, Украине, Германии, Болгарии, Чехословакии, Польше.

За заслуги в научно-педагогической и общественной деятельности Горбачик В. Е. награжден Почетными грамотами Министерства высшего и среднего образования СССР, БССР, Витебского областного исполнительного комитета, Центрального правления НТО легкой промышленности СССР, концерна «Беллегпром», Витебского государственного технологического университета, знаком Госкомобразования СССР «За отличные успехи в работе», дипломом Министерства образования Республики Беларусь.

Получение и свойства полипропиленовой нити с многофункциональным покрытием на основе политетрафторэтилена

Н. П. Пророкова^{1,2}, ¹Институт химии растворов имени Г. А. Крестова Российской академии наук,

С. Ю. Вавилова¹, ²Ивановский государственный политехнический университет,

В. М. Бузник³ ³Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова Российской академии наук, Российская Федерация

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме создания на основе термопластичных полимеров нитей со свойствами, аналогичными свойствам нитей из фторополимеров. Предлагается простой и эффективный способ получения текстильных полипропиленовых нитей с устойчивым покрытием на основе политетрафторэтилена (фторопласта). Способ реализуется на стадии формования полипропиленовых нитей из расплава. Он основан на образовании на поверхности каждого филамента, составляющего нить, покрытия из политетрафторэтилена. Целью настоящей статьи являлось исследование морфологии сформированного покрытия, определение основных свойств ПП нити с ПТФЭ покрытием и сопоставление их с характеристиками нитей, полностью изготовленных из фторополимеров. Методами атомно-силовой, сканирующей электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа, ИК спектроскопии показано, что образованное покрытие носит равномерный характер, является ультратонким и сплошным. Установлено, что ПП нить с ПТФЭ покрытием может подвергаться ориентационному вытягиванию при температурах, превышающих стандартные. Такая нить обладает повышенной прочностью, очень низким коэффициентом трения и чрезвычайно высокой устойчивостью к воздействию химически агрессивных жидкостей. Нанесенное покрытие обладает высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям. По указанным характеристикам ПП нити с ПТФЭ покрытием не уступают нитям из политетрафторэтилена, а стоимость новых материалов в десятки раз ниже.

Ключевые слова: полипропиленовые комплексные нити, политетрафторэтилен, фторопласт, формование из расплава, покрытие, прочные нити, хемостойкие нити.

Информация о статье: поступила 09 сентября 2024 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)», которая состоялась 20–21 ноября 2024 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Polypropylene yarns with multifunctional coating based on polytetrafluoroethylene

Natalia P. Prorokova^{1,2}, ¹G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences,

Svetlana Yu. Vavilova¹, ²Ivanovo State Polytechnic University,

Veacheslav M. Bouznik³ ³N. S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation

Abstract. The article is devoted to the issue of producing yarns based on thermoplastic polymers with properties comparable to those of yarns made of fluoropolymers. A simple and effective method is proposed for producing textile polypropylene (PP) yarns with a stable coating based on polytetrafluoroethylene (fluoroplastic). The method is implemented at the stage of forming polypropylene yarns from the melt. It is based on the formation of a polytetrafluoroethylene (PTFE) coating on the surface of each filament that makes up the yarns. The purpose of this article is to study the morphology of the formed coating, determine the main properties of PP yarns with PTFE coating and compare them with the characteristics of yarns made entirely of fluoropolymers. Using atomic force microscopy, scanning electron microscopy, energy dispersive analysis, and IR spectroscopy, it was shown that the resulting coating is uniform, ultra-thin, and continuous. It has been established that PP yarns with PTFE coating can be subjected to orientation drawing at temperatures exceeding standard

ones. This yarn has increased strength, a very low coefficient of friction and extremely high resistance to the effects of chemically aggressive liquids. The applied coating has high resistance to operational influences. According to the specified characteristics, PP yarns with PTFE coating are not inferior to yarns made of polytetrafluoroethylene, and the cost of the new materials is tens of times lower.

Keywords: polypropylene complex yarns, polytetrafluoroethylene, melt spinning, coating, strong yarns, chemical-resistant yarns.

Article info: received September 09, 2024.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2024), held on November 20–21, 2024 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Известно, что наиболее сложно получаемыми волокнами являются волокна на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ). Их нельзя сформировать ни из раствора (т. к. ПТФЭ ни в чем не растворяется), ни из расплава (ПТФЭ разлагается до плавления). Поэтому для получения нити из ПТФЭ был разработан специальный способ (Сигал и Козиорова, 1972; Лазар, Радо и Климан, 1965; Роговин, 1974; Варшавский, 1972). Он основан на формировании волокон из загущенной специальным полимером-загустителем водной дисперсии ПТФЭ. Такие волокна подвергаются быстрому нагреву до 380–390 °С, в процессе которого полимер-загуститель разрушается и удаляется в виде газообразных веществ, а ПТФЭ спекается до начала его разложения. Для упрочнения волокон и нитей они подвергаются дополнительному ориентационному вытягиванию при повышенной температуре. Описанный способ является технологически сложным, энергоемким, экологически опасным и дорогостоящим.

В последние десятилетия начато получение волокон из ПТФЭ методом твердофазного формирования, в основе которого лежит явление сверхпластичности ПТФЭ, обнаруженное при исследовании ориентационного деформирования полимеров под гидростатическим давлением (Mc Gee and Collier, 1986). Новый метод является более простым и безопасным. Однако, хотя стоимость волокон на основе ПТФЭ, полученных по новому способу, несколько снижается, она все же остается чрезвычайно высокой, что связано с высокой стоимостью сырья.

Перспективным путем снижения материалоемкости и, как следствие, стоимости волокон и нитей, является замена нитей из ПТФЭ на бикомпонентные нити, сердцевина которых состоит из дешевого термопластичного волокнообразующего полимера, например, полипропилена, а на поверхности находится слой ПТФЭ. Однако

ряд свойств ПТФЭ делает решение такой задачи очень сложным.

Известно, что многие бикомпонентные полимерные волокна типа ядро-оболочка получают методом электроформования (Sun, Zussman, Yarin et al., 2003; Zhang, Huang, Xu et al., 2004; Sun, Duan and Yuan, 2006). В частности, авторам работы (Han and Steckl, 2009) удалось с помощью коаксиального электроформования получить волокна, ядро которых состоит из поли-(ε-капролактона), а оболочка – из тефлона АФ, который представляет собой сополимер перфтордиметилдиоксида и тетрафторэтилена. Однако, в отличие от менее химически стойкого тефлона АФ, ПТФЭ, обладающий нулевым дипольным моментом, не пригоден к электроформованию. В связи с низкой адгезионной способностью ПТФЭ невозможно также формирование на поверхности полипропиленовой нити устойчивого покрытия путем нанесения дисперсии ПТФЭ обыкновенной пропиткой или пульверизацией. Неустойчивым к эксплуатационным воздействиям является также и покрытие из ПТФЭ, нанесенное на синтетические волокнистые материалы методом магнетронного напыления.

В Институте химии растворов имени Г. А. Крестова Российской академии наук удалось решить проблему получения устойчивого покрытия из политетрафторэтилена на поверхности термопластичных нитей, в частности, полипропиленовых. Для обеспечения адгезии ПТФЭ к полипропилену (ПП) использовали нанесение суспензии ПТФЭ на поверхность полутвержденной полипропиленовой нити при формировании её из расплава на стадии замасливания. С помощью вытягивания при повышенных температурах нити с нанесенным ПТФЭ обеспечивали ориентацию и перераспределение ПТФЭ, приводящее в формированию ультратонкого, сплошного, равномерного покрытия (^аПророкова и др. 2014; ^бПро-

рокова и др. 2014).

Целью настоящей работы являлось исследование морфологии покрытия, определение основных свойств ПП нити с ПТФЭ покрытием и сопоставление их с характеристиками нитей, полностью изготовленных из фторполимеров.

Материалы и методы исследования

ПТФЭ покрытие на ПП нити наносили на стадии формирования ПП нитей из расплава. Работы проводили с использованием лабораторных стэндов для формирования (рисунок 1) и ориентационного вытягивания синтетических волокон (рисунок 2). Стэнды имитируют температурные и скоростные условия получения нитей [Вавилова, Пророков и Пикалов, 2011].

В работе использовали разбавленную суспензию фторопласта 4Д (производитель – ОАО «Галополимер», г. Пермь, Россия). Суспензия представляет собой взвесь в воде частиц фторопласта-4Д, размером 0,06–0,4 мкм, в которую для стабилизации и смачивания введено 6–12 % ПАВ. Содержание массовой доли нелетучих веществ составляет не менее 50 % (СТО 05807960-007-2010). Содержание сухого ПТФЭ в суспензии составляет 65 % масс.

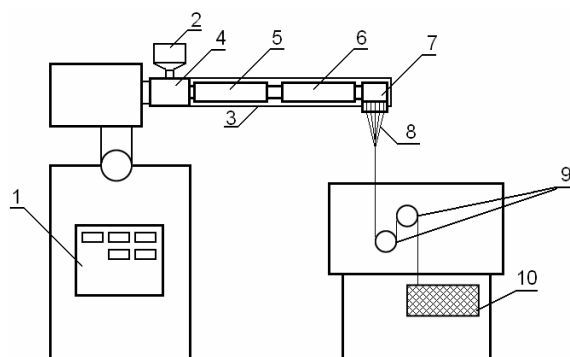


Рисунок 1 – Схема стэнда СФПВ-1:

1 – КИП; 2 – бункер; 3 – экструдер; 4 – зона загрузки экструдера; 5 – зона плавления полимера; 6 – зона стабилизации расплава; 7 – фильерный комплект; 8 – струи расплава; 9 – формовочные диски; 10 – приемное устройство

Figure 1 – Diagram of the SFPV-1 stand:

1 – KIP; 2 – hopper; 3 – extruder; 4 – extruder loading zone; 5 – polymer melting zone; 6 – melt stabilization zone; 7 – die set; 8 – melt jets; 9 – molding discs; 10 – receiving device

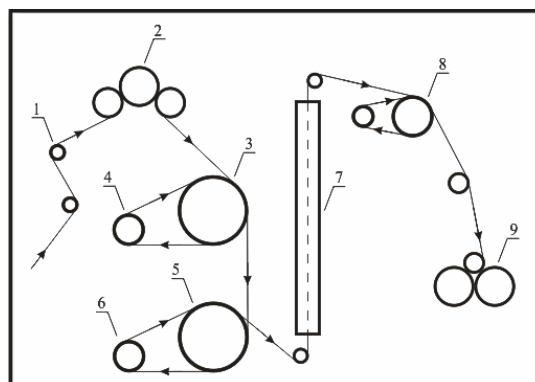


Рисунок 2 – Схема стэнда ОСВ-1:

1 – нитенаправитель; 2 – питающий прибор; 3 – верхний обогреваемый диск; 4, 6 – свободные ролик; 5 – нижний обогреваемый диск; 7 – термоэлектростатизатор; 8 – компенсирующее устройство; 9 – приемная часть машины

Figure 2 – Diagram of the OSV-1 stand:

1 – thread guide; 2 – feeding device; 3 – upper heated disc; 4, 6 – free rollers; 5 – lower heated disc; 7 – thermoelectroplasticizer; 8 – compensating device; 9 – receiving part of the machine

Для нанесения на нити использовали разбавленную суспензию с концентрацией ПТФЭ 1 – 16 % масс.

Для получения ПП нитей использовали изотактический полипропилен марки «Бален» 01250 («Уфаоргсинтез», г. Уфа, Россия) с индексом расплава 25 г / 10 мин и температурой плавления 169 °С.

Для ряда экспериментов в качестве модели ПП нити использовали пленку из изотактического полипропилена марки «Бален» 01250 толщиной 30 мкм («Европак», г. Иваново, Россия). На поверхность ПП пленки наносили суспензию ПТФЭ с концентрациями, аналогичными тем, которые использовались при получении модифицированных нитей. Пленки с покрытием подвергали ориентационному вытягиванию на стэнде ОСВ-1 с кратностью 5 при температурах, аналогичных температурам вытягивания нитей.

Оценку поверхностного содержания фтора проводили на основании энергодисперсионного спектра. Сканирование поверхности текстильного материала осуществляли на сканирующем электронном микроскопе

JSM 6380LA фирмы JEOL, последующий анализ – с помощью встроенного рентгеноспектрального анализатора JED-2300.

Оценку шероховатости поверхности ПП материала проводили с помощью атомно-силового микроскопа Solver P 47-PRO NT-MDT.

Коэффициенты трения ПП нитей определяли с помощью прибора системы В. В. Талепаровской в соответствии с методикой, описанной в [Кукин, Соловьев, Садыкова и др., 1974] при 30 параллельных измерениях.

ИК спектры получали с помощью спектрометра фирмы «Nicollet» типа «Avatar ESP 360» по методу многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) с использованием кристалла селенида цинка с 12-кратным отражением в диапазоне от 600 до 1600 см⁻¹.

Диаметры элементарных нитей (филаментов) контролировали с помощью прибора «Ланатестер-2»00 фирмы «Метримпекс». Основные механические характеристики ПП нитей (разрывную нагрузку и удлинение) определяли при однократном растяжении их до разрыва на модернизированной разрывной машине 2099-P-5 фирмы «Точприбор» в соответствии с ГОСТ 6611.2-73 (ISO 2062-72, ISO 6939-88). Длина образцов составляла 250 мм, скорость растяжения 300 мм/мин.

Оценку устойчивости покрытия к эксплуатационным воздействиям проводили с использованием специального прибора оценки устойчивости окраски к трению ТП-4 (ред. Бяльский и Карпова 1971). Ориентированную ПП пленку с ПТФЭ покрытием подвергали истирающему воздействию с нагрузкой 1 кг за счет 50 возвратно-поступательных движений истирающего элемента по поверхности образца.

Экспериментальные исследования и анализ результатов

Как показал эксперимент, проведенный на модели нити – ПП пленке с покрытием на основе ПТФЭ, в ре-

зультате ориентационного вытягивания ПП подложки покрытие становится более равномерным и упорядоченным. Энергодисперсионный анализ ПП пленки с ПТФЭ покрытием показал, что на поверхности неориентированной пленки содержание фтора составляет $(47,2 \pm 0,3) \%$; а на поверхности пленки, подвергнутой ориентационному вытягиванию, содержание фтора $(42,4 \pm 0,3) \%$. Этот факт подтверждает уменьшение толщины ПТФЭ покрытия в результате ориентационного вытягивания.

Более полную информацию об изменении морфологии поверхности ПП пленки на разных стадиях её модификации ПТФЭ получили с помощью метода атомно-силовой микроскопии. Данные о шероховатости пленки представлены в таблице 1.

Как видно из таблицы, ПП пленка без покрытия имеет гладкую поверхность со средним значением шероховатости 9 нм. Шероховатость модифицированной неориентированной пленки составляет в среднем 120 нм. На ее поверхности наблюдается покрытие, которое носит зернистый характер. Средний диаметр зерен, просматривающихся в структуре покрытия (200–300 нм), соответствует размеру частиц суспензии, заявленному производителем (60–400 нм). Это свидетельствует о том, что уже на стадии нанесения на ПП подложку частицы суспензии ПТФЭ объединяются в единое целое, образуя сплошное покрытие. Ориентационное вытягивание способствует сглаживанию и выравниванию поверхности покрытия. Уровень шероховатости ориентированной пленки в значительной степени определяется температурой ориентационного вытягивания. Вытягивание при традиционных для получения ориентированной ПП нити температурах 118–125 °С приводит к снижению шероховатости пленки до 50 нм. Шероховатость пленки, вытянутой при температуре 155 °С, снижается до уровня исходной и составляет 9 нм.

Таблица 1 – Изменение шероховатости пленки на разных стадиях нанесения ПТФЭ покрытия

Table 1 – Change in film roughness at different stages of PTFE coating application

Вид ПП пленки с ПТФЭ покрытием	Без покрытия	Неориентированная ПП пленка с ПТФЭ покрытием	ПП пленка с ПТФЭ покрытием, ориентированная при 118–125 °С	ПП пленка с ПТФЭ покрытием, ориентированная при 155 °С
Средняя шероховатость, нм	9	120	50	9

Изменение химической природы и рельефа поверхности нити за счет формирования на ней ПТФЭ покрытия не может не сказаться на трибологических характеристиках модифицированных нитей. Коэффициенты трения волокна по волокну определяли на приборе специальной конструкции, предназначенном для исследования фрикционных свойств текстильных волокон. Было установлено, что в результате модифицирования ПП нити суспензией ПТФЭ коэффициент трения снижается с 0,2 до 0,04. Следовательно, модифицированная нить приобретает значения коэффициента трения, близкие к коэффициенту трения ПТФЭ.

О том, как модифицирование ПП нитей влияет на их прочность и удлинение, судили по данным, представленным в таблице 2.

Из таблицы следует, что в результате модифицирования ПП нити её прочность значительно возрастает. Максимальное повышение прочности (59 %) наблюдается при наиболее высокой температуре ориентационного вытягивания нити (155 °С). Известно, что степень ориентации макромолекул термопластичного полимера, которая в значительной степени определяет прочностные свойства нити, увеличивается с увеличением кратности вытягивания [Завадский, Вавилова и Пророкова, 2017]. При повышении температуры вытягивания снижается взаимодействие между макромолекулами волокнообразующего полимера. В результате появляется возможность получения нитей с более высокой степенью ориентации, совершенной структурой и высокой прочностью. Однако максимальная температура вытягивания лимитируется температурой размягчения нити, при которой её переработка сильно затруднена.

В связи с этим максимальное значение температуры ориентационного вытягивания стандартной ПП нити составляет 123–125 °С. Нанесение на поверхность ПП нити покрытия из ПТФЭ позволяет повысить температуру ориентационного вытягивания модифицированной нити. Экспериментально установлено, что максимально возможная температура вытягивания такой нити приближается к температуре плавления ПП и составляет 155 °С [Prorokova, Vavilova and Bouznik, 2017; Пророкова и Вавилова, 2017].

Химическую стойкость модифицированной нити оценивали по изменению её разрывной нагрузки после продолжительного воздействия агрессивных жидкостей – концентрированного раствора гидроксида натрия и концентрированной азотной кислоты, являющейся одновременно сильным окислителем. В процессе эксперимента варьировали концентрацию суспензии ПТФЭ и температуру ориентационного вытягивания. Полученные данные приведены в таблицах 3 и 4, соответственно.

Данные таблиц свидетельствуют, что прочность немодифицированной ПП нити под действием концентрированных щелочей и кислот уменьшается на 8–27 %, соответственно. Воздействие агрессивных жидкостей на модифицированную нить не только не приводит к потере прочности, но и способствует её возрастанию.

Отсутствие потери прочности модифицированной ПП нити при действии на нее химически агрессивных жидкостей свидетельствует о том, что ПТФЭ покрытие, защищающее её поверхность, является сплошным, и его структура не имеет дефектов. Повышение прочности модифицированной ПП нити после воздействия

Таблица 2 – Основные разрывные полуцикловые характеристики полипропиленовой нити с покрытием из ПТФЭ

Table 2 – Main discontinuous semi-cyclic characteristics of polypropylene yarn coated with PTFE

Температуры ориентационного вытягивания, °С	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить		
$T_1 = 118, T_2 = 120, T_3 = 125$	395 ± 15	$34,3 \pm 2,8$
ПП нить с ПТФЭ покрытием		
$T_1 = 120, T_2 = 125, T_3 = 135$	$439 \pm 30 (+ 11 \%)$	$46,0 \pm 2,2$
$T_1 = 120, T_2 = 135, T_3 = 145$	$484 \pm 16 (+ 22 \%)$	$45,8 \pm 3,9$
$T_1 = 120, T_2 = 140, T_3 = 155$	$630 \pm 61 (+ 59 \%)$	$45,4 \pm 4,4$

Таблица 3 – Разрывная нагрузка и удлинение ПП нитей с покрытием на основе ПТФЭ концентрации 8 %, после кипячения в растворе гидроксида натрия концентрации 5 моль / л в течение 3 часов

Table 3 – Breaking load and elongation of PP filaments coated with PTFE at a concentration of 8 %, after boiling in a solution of sodium hydroxide at a concentration of 5 mol / l for 3 hours

Температуры ориентационного вытягивания, °С	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	После кипячения в растворе NaOH (конц.)	
			Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить				
$T_1 = 118, T_2 = 120, T_3 = 125$	395 ± 15	34,3 ± 2,8	365 ± 14 (- 8 %)	53,1 ± 3,6
ПП нить с покрытием из ПТФЭ				
$T_1 = 120, T_2 = 125, T_3 = 135$	449 ± 24	44,0 ± 4,2	480 ± 34 (+ 7 %)	50,6 ± 4,2
$T_1 = 120, T_2 = 135, T_3 = 145$	463 ± 28	43,7 ± 4,1	524 ± 23 (+ 13 %)	47,0 ± 4,4
$T_1 = 120, T_2 = 140, T_3 = 155$	630 ± 61	45,4 ± 4,4	636 ± 28 (+ 1 %)	46,1 ± 1,5

Таблица 4 – Разрывная нагрузка и удлинение ПП нитей с покрытием из ПТФЭ после выдерживания в концентрированной азотной кислоте в течение 24 часов при температуре 25 °С

Table 4 – Breaking load and elongation of PP filaments coated with PTFE after exposure to concentrated nitric acid for 24 hours at a temperature of 25 °С

Концентрация суспензии СФ-4 Д, %	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	После выдерживания в HNO ₃ (конц.)	
			Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Стандартная ПП нить				
0	395 ± 15	34,3 ± 2,8	290 ± 14 (- 27 %)	41,2 ± 3,6
ПП нить с покрытием из ПТФЭ				
16	459 ± 67	40,6 ± 5,2	572 ± 19 (+ 25 %)	36,3 ± 2,0
12	417 ± 31	46,6 ± 6,0	485 ± 9 (+ 16 %)	36,7 ± 4,8
6	393 ± 30	50,2 ± 7,8	445 ± 55 (+ 13 %)	37,9 ± 1,6

агрессивных жидкостей может быть связано с удалением под действием агрессивных жидкостей с поверхности плохо зафиксированных микрочастиц и улучшение вследствие этого структуры и морфологии покрытия. Это предположение было подтверждено с помощью исследования ПП пленки с ПТФЭ покрытием, подвергнутой воздействию концентрированной азотной кислоты. На основании результатов атомно-силовой микроскопии был сделан вывод, что прирост прочности при воздей-

ствии химически агрессивных жидкостей связан с удалением с поверхности ПП подложки слабо связанного с ней избыточного количества ПТФЭ. В результате этого дополнительно повышается равномерность структуры покрытия и выравнивается его поверхность.

Для оценки устойчивости к эксплуатационным воздействиям покрытия на основе ПТФЭ, нанесенного на ПП нить, на модели модифицированной нити, которая представляет собой модифицированную ориентирован-

ную пленку, определяли, сохраняется ли покрытие после интенсивного истирающего воздействия. После 50 циклов истирающего воздействия на образцы пленки методом МНПВО были получены ИК спектры их поверхности. Полученные результаты свидетельствуют, что на результирующем спектре присутствуют полосы в области 1207 и 1150 см⁻¹, которые свидетельствуют о наличии ПТФЭ на поверхности модифицированной пленки даже после интенсивного истирающего воздействия на неё (Dechant, Danz, Kimmer and Schmolke, 1972).

О том, как изменяется морфология поверхности модифицированной ориентированной ПП пленки в результате истирающих воздействий, судили по визуализированным представлениям о топографии поверхности, полученным методом атомно-силовой микроскопии, результаты которой представлены на рисунке 3.

Сопоставление этих данных с приведенными в таблице 1 показывает, что хотя после интенсивного истирающего воздействия шероховатость покрытия становится несколько выше (возрастает с 9 нм до 19 нм), оно остается гладким и однородным. Это свидетельствует о хорошей устойчивости покрытия к эксплуатационным воздействиям.

В таблице 5 (Prorokova, Vavilova and Bouznik, 2017) сопоставлены свойства ПП нитей с покрытием из ПТФЭ, нитей, полностью состоящих из ПТФЭ (Polifen®) и сополимера ПТФЭ с винилиденфторидом (Ftorlon®).

Из таблицы следует, что ПП нить с ПТФЭ покрытием по химической стойкости не уступает нитям, полностью

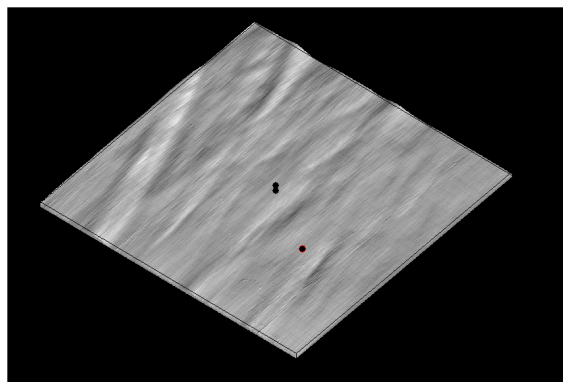


Рисунок 3 – Морфология поверхности ПП пленки с ПТФЭ покрытием, ориентированной при температурах 120–155 °С, после 50 циклов истирающего воздействия (шероховатость 19 нм)
Figure 3 – Morphology of the surface of a PTFE coated PP film oriented at temperatures of 120–155 °C, after 50 cycles of abrasion (roughness of 19 nm)

состоящим из фторполимеров, обладает таким же низким коэффициентом трения, отличается высокой прочностью. Её максимальная температура эксплуатации несколько ниже, чем у Polifen®, но близка к Ftorlon®. Кроме того, ПП нить с ПТФЭ покрытием является очень легкой и имеет в сотни раз более низкую стоимость, чем нить, полностью состоящая из ПТФЭ.

Таблица 5 – Сравнительная характеристика ПП нитей с ПТФЭ покрытием, Polifen® и Ftorlon®

Table 5 – Comparative characteristics of PP filaments with PTFE coating, Polifen® and Ftorlon®

Вид нити	Плотность, г/см ³	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %	Химическая стойкость	Коэффициент трения	Максимальная температура эксплуатации, °С
ПП с ПТФЭ покрытием	0,9	630 ± 61	45,4 ± 4,4	Очень высокая	0,04	120–140
Polifen® (состоит из ПТФЭ)	2,2	100–180	20–40	Очень высокая	0,04	260–280
Ftorlon® (состоит из сополимера ТФЭ с винилиденфторидом)	2,1	300–600	8–25	Очень высокая	0,04	110–120

В качестве основы нити, кроме полипропилена, могут быть использованы другие термопластичные волокнообразующие полимеры, используемые для получения нитей из расплава, такие как полиамид и полиэтилентерфталат.

Выводы

Проведенное исследование показало, что нанесение суспензии политетрафторэтилена на полипропиленовую нить при её получении из расплава, проводимое для придания ПП нити свойств, подобных свойствам фторопластовой нити, обеспечивает формирование фторполимерного покрытия на поверхности каждого составляющего нить филамента. Нанесение суспензии ПТФЭ на поверхность полутвержденной нити обеспечивает адгезию ПТФЭ к подложке и приводит к образованию сплошного, довольно толстого покрытия зернистой структуры. Ориентационное вытягивание нити с нанесенным на её поверхность ПТФЭ обеспечивает уменьшение толщины покрытия примерно в 10 раз, приводит к сглаживанию и выравниванию его поверхности. Структура покрытия и основные характеристики нити с покрытием зависят от концентрации наносимой на нить суспензии ПТФЭ и температуры ориентационного вытягивания. Наиболее равномерная и бездефектная

структура покрытия создается при ориентационном вытягивании нити при температуре, приближающейся к температуре плавления полипропилена (155 °C). В результате нанесения покрытия значительно возрастает прочность ПП нити. Её коэффициент трения снижается до уровня коэффициента трения политетрафторэтилена. ПП нить с ПТФЭ покрытием приобретает экстремально высокую химическую стойкость, о чем свидетельствует тот факт, что ПТФЭ покрытие остается неповрежденным после длительного воздействия агрессивных сред (кипячении в течение двух часов в растворе гидроксида натрия концентрации 200 г/л, выдерживании в течение 24 часов в концентрированной HNO_3). Сформированное покрытие является устойчивым к интенсивному истирающему воздействию.

Таким образом, новый способ нанесения ПТФЭ покрытия на ПП нити является перспективным для получения волокнистых материалов, обладающих низким коэффициентом трения и экстремально высокой устойчивостью к действию химических реагентов. По указанным характеристикам они не уступают волокнам из политетрафторэтилена, а стоимость новых материалов в десятки раз ниже.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Вавилова, С.Ю., Пророкова, Н.П. и Пикалов, А.П. (2011). Влияние условий формования и ориентационного вытягивания полипропиленовой нити на её физико-механические свойства. *Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности*, Т 12, № 3, С. 17–20.

Завадский, А.Е., Вавилова, С.Ю. и Пророкова, Н.П. (2017). Особенности ориентационных процессов в кристаллических и аморфных областях полипропилена при формовании нитей. *Химические волокна*, № 1, С. 11–15.

Кукин, Г.Н., Соловьев, А.Н., Садыкова, Ф.Н. и др. (1974). *Лабораторный практикум по текстильному материаловедению*, М.: легкая промышленность, Российская Федерация.

Лазар, М., Радо, Р. и Климан, Н. (1965). *Фторопласты* / пер. со словацкого под ред. С.А. Яманова. Москва-Ленинград: Энергия, СССР.

Перепелкин, К.Е. (1972). *Карбоцепные синтетические волокна*. Москва-Ленинград: Химия, СССР.

^аПророкова, Н.П., Вавилова, С.Ю., Кумеева, Т.Ю., Морыганов, А.П. и Бузник, В.М. (2014). *Синтетические нити с высокой хемостойкостью и низким коэффициентом трения*, патент РФ № 2522337 С1, заявка № 2012153927/05 от 14.12.2012, зарегистрировано в Госреестре 16 мая 2014 г. Опубликовано 10.07.2014, Бюл. № 19.

^бПророкова, Н.П., Вавилова, С.Ю., Кумеева, Т.Ю., Морыганов, А.П. и Бузник, В.М. (2014). *Способ получения синтетических нитей*, патент РФ № 2522338, заявка № 2012153928/05 от 14.12.2012, зарегистрировано в Госреестре 16 мая 2014 г. Опубликовано 10.07.2014, Бюл. № 19.

Ред. Бяльский, А.Л. и Карпов, В.В. (1971). *Красители для текстильной промышленности*, М.: Химия, Российская Федерация.

- Роговин, З.А. (1974). *Основы химии и технологии химических волокон*, Т. 2. Москва: Химия, СССР.
- Сигал, М.Г. и Козиорова, Т.Н. (1972). *Синтетические волокна из дисперсий полимеров*. Москва: Химия, СССР.
- Dechant, J., Danz, R., Kimmer, W. and Schmolke, R. (1972). *Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren*, Akademie-Verlag, Berlin.
- Han, D. and Steckl, A.J. (2009). Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning. *Langmuir*, V. 25, P. 9454–9462.
- Mc Gee, R.L. and Collier, J.R. (1986). Solid State Extrusion of Polytetrafluoroethylene Fibers. *Polymer Eng. & Sci*, V. 26, № 3, P. 239–242.
- Prorokova, N.P., Vavilova, S.Y. and Bouznik, V.M. (2017). A novel technique for coating polypropylene yarns with polytetrafluoroethylene. *Journal of Fluorine Chemistry*, 204, P. 50–58. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2017.10.009.
- Sun, B., Duan, B. and Yuan, X.Y. (2006). Preparation of Core/Shell PVP/PLA Ultrafine Fibers by Coaxial Electrospinning. *J. Appl. Polym. Sci.*, V. 102, P. 39–45.
- Sun, Z., Zussman, E., Yarin A.L. et al. (2003). Compound Core – Shell Polymer Nanofibers by Co-electrospinning. *Adv. Mater.*, V. 15, P. 1929–1932.
- Zhang, Y., Huang, Z.-M., Xu, X. et al. (2004). Preparation of Core – Shell Structured PCL-r-Gelatin Bi-component Nanofibers by Coaxial Electrospinning. *Chem Mater.*, V. 16, P. 3406–3409.

REFERENCES

- Vavilova, S.Yu., Prorokova, N.P. and Pikalov, A.P. (2011). The influence of the molding conditions and orientational stretching of polypropylene yarn on its physical and mechanical properties [Vliyaniye uslovii formovaniya i orientatsionnogo vityagivaniya polypropilenovoi niti na ee fiziko-mekhanicheskie svoystva]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Light industry technology*. T. 12, № 3. С. 17–20 [In Russian].
- Zavadskii, A.E., Vavilova S.Y. and Prorokova, N.P. (2017). Orientation processes in crystalline and amorphous regions of polypropylene during yarn spinning. *Fibre Chemistry*, V. 49, P. 10–14. DOI: 10.1007/s10692-017-9831-9.
- Kukin, G.N., Solovjev, A.N., Sadikova F.N. et al. (1974). *Laboratorniy praktikum po tekstilnomu materialovedeniu* [Laboratory practical training on textile materials science] M.: Legkaya promyshlennost, Russian Federation [in Russian].
- Lazar M., Rado R. and Kliman N. (1965). *Ftoroplasti* [Fluoroplastics]. Moscow-Leningrad: Energy, USSR [In Russian].
- Perepelkin, K.E. (1972). *Karbotsepnie sinteticheskie volokna* [Carbon chain synthetic fibers], Moscow: Himiya, USSR [In Russian].
- ^aProrokova, N.P., Vavilova, S.Ju., Kumeeva, T.Ju., Moryganov, A.P. and Buznik, V.M. (2014). *Metod of producing synthetic fibres*, Patent RF № 2522338, 10.07.2014, Bul. № 19.
- ^bProrokova, N.P., Vavilova, S.Ju., Kumeeva, T.Ju., Moryganov, A.P. and Buznik, V.M. (2014). *Synthetic fibres with high chemical resistance and low coefficient of friction*, Patent RF № 2522337 C1, 10.07.2014, Bul. № 19.
- Red. Bialskiy, A.L., Karpov, V.V. (1971). *Krasiteli dlia tekstilnoi promishlennosti* [Dyes for textile industry]. M.: Khimia, Russian Federation [in Russian].
- Rogovin, Z.A. (1974). *Osnovi himii i tehnologii himicheskikh volokon* [Fundamentals of chemistry and technology of chemical fibers]. T. 2, Moscow: Himiya, USSR [In Russian].
- Sigal, M.G. and Koriozova, T.N. (1972). *Synteticheskie volokna iz dispersii polymerov* [Synthetic fibers from polymer dispersions]. Moscow: Himiya, USSR [In Russian].
- Dechant, J., Danz, R., Kimmer, W. and Schmolke, R. (1972). *Ultrarotspektroskopische Untersuchungen an Polymeren*, Akademie-Verlag, Berlin.
- Han, D. and Steckl, A.J. (2009). Superhydrophobic and Oleophobic Fibers by Coaxial Electrospinning. *Langmuir*, V. 25, P. 9454–9462.

Mc Gee, R.L. and Collier, J.R. (1986). Solid State Extrusion of Polytetrafluoroethylene Fibers. *Polymer Eng. & Sci.*, V. 26, № 3, P. 239–242.

Prorokova, N.P., Vavilova, S.Y. and Bouznik, V.M. (2017). A novel technique for coating polypropylene yarns with polytetrafluoroethylene. *Journal of Fluorine Chemistry*, 204, P. 50–58. DOI: 10.1016/j.jfluchem.2017.10.009.

Sun, B., Duan, B. and Yuan, X.Y. (2006). Preparation of Core/Shell PVP/PLA Ultrafine Fibers by Coaxial Electrospinning. *J. Appl. Polym. Sci.*, V. 102, P. 39–45.

Sun, Z., Zussman, E., Yarin A.L. et al. (2003). Compound Core – Shell Polymer Nanofibers by Co-electrospinning. *Adv. Mater.*, V. 15, P. 1929–1932.

Zhang, Y., Huang, Z.-M., Xu, X. et al. (2004). Preparation of Core – Shell Structured PCL-r-Gelatin Bi-component Nanofibers by Coaxial Electrospinning. *Chem Mater.*, V. 16, P. 3406–3409.

Информация об авторах

Information about the authors

Пророкова Наталья Петровна

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт химии растворов имени Г. А. Крестова Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: npp@isc-ras.ru

Вавилова Светлана Юрьевна

Кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт химии растворов имени Г. А. Крестова Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: vsj@isc-ras.ru

Бузник Вячеслав Михайлович

Доктор химических наук, академик РАН, главный научный сотрудник, Институт общей и неорганической химии имени Н. С. Курнакова Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: bouznik@ngs.ru

Natalia P. Prorokova

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chief Researcher, G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: npp@isc-ras.ru

Svetlana Yu. Vavilova

Candidate of Sciences (in Engineering), Researcher, G. A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: vsj@isc-ras.ru

Veacheslav M. Bouznik

Doctor of Science (in Chemistry), Academician of the Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, N. S. Kurnakov Institute of General and Inorganic Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: bouznik@ngs.ru

Разработка методики определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью

А. Н. Радюк, Т. М. Борисова,
М. А. Нейфельд, А. Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь

Аннотация. Как известно, детали, находящиеся между стопой и опорной поверхностью (землей, полом) – детали низа, в процессе носки обуви подвергаются наибольшему воздействию. В обычных конструкциях обуви значительную работу выполняет подошва. Она работает на истирание и повторные изгибы. Имеющиеся исследования работы подошвы в процессе носки обуви показали, что ее разрушение связано с величиной удельных давлений, возникающих в зоне контакта подошвы с опорой. Немаловажным фактом является то, что касание двух тел всегда дискретно, т. е. происходит на отдельных пятнах касания, размер и количество которых зависит от нормальных и касательных напряжений, упругих свойств контактируемых тел и от шероховатости их поверхностей. Установление удельного давления в наружном слое подошвы обуви и пятна касания (контакта) является актуальной задачей, так как данные параметры влияют на интенсивность и механизм износа.

Целью исследования является разработка методики определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью, позволяющая установить площадь фактического контакта и рассчитать удельное давление в зоне контакта подошвы с опорой.

В результате работы разработана методика определения фактического пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью, установлена площадь фактического контакта и рассчитаны удельные давления в зоне контакта подошвы с опорой. Проведен анализ полученных значений, установлено, что с увеличением нагрузки увеличивается площадь фактического отпечатка и соответственно отношение величины площади фактического отпечатка к номинальной площади. Для большинства образцов с увеличением нагрузки увеличивается удельное давление в зоне контакта подошвы с опорой, отношения площади фактического контакта к номинальной площади касания соответствует известным значениям. Разработанная методика и полученные результаты исследования позволяют в совокупности прогнозировать механизм износа для исследованных образцов.

Ключевые слова: пятно контакта, площадь касания, удельное давление, отпечаток ходовой поверхности, методика определения.

Информация о статье: поступила 24 февраля 2025 года.

Development of a method for determining the contact spot of the shoe sole with the supporting surface

Anastasia N. Radyuk, Tatsiana M. Borisova,
Maria A. Neufeld, Alexander N. Burkin

Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus

Abstract. Relevance. As it is known, the parts that are between the foot and the supporting surface [e.g. ground, floor] – commonly referred to as shoe bottom – in the process of wearing shoes are subjected to the greatest impact. In conventional shoe constructions, the sole bears significant mechanical loads, including abrasion and cyclic bending. Prior studies of sole behavior during wear show that its destruction is associated with the value of specific pressures arising in the contact zone of the sole with the support. A critical consideration is that the contact between two bodies is always discrete, i. e. it occurs on separate spots of contact, whose size and number depend on the normal and tangential stresses, elastic properties of the contacted bodies and surface roughness. Determining the specific pressure in the outer layer of the shoe sole and the spot of contact is essential, as these parameters govern the intensity and wear mechanism.

The aim of the research is to develop a methodology for determining the contact spot of the shoe sole with the support

surface, to measure the area of actual contact, and to calculate the specific pressure in the contact zone of the sole with the support.

As a result of the work, a technique for determining the actual spot of contact of a shoe sole with a support surface was developed; the area of actual contact was determined and specific pressure in the contact zone of the sole with a support was calculated. Analysis of the values revealed that with increasing load the area of the actual indentation increases and, accordingly, the ratio of the value of the area of the actual indentation to the nominal area. For the majority of specimens, it was found that with increasing load, the specific pressure in the contact area of the sole with the support increases, and the ratio of the actual contact area to the nominal touching area corresponds to the known values. The developed methodology and findings allow the prediction of the wear mechanism for the tested samples.

Keywords: contact spot, contact area, specific pressure, running surface imprint, method of determination.

Article info: received February 24, 2025.

Введение

Обувь должна быть сконструирована так, чтобы обеспечивать хорошую поддержку и защиту стопы (Kim, I.-J., Smith, R., & Nagata, H., 2001; Kim, I.-J., 2015), обеспечивать безопасность и комфорт, а также повышать производительность во время различных видов деятельности (Kim, I.-J., 2016). Также обувь должна обеспечивать эффективное сцепление или сопротивление скольжению в любой ситуации (Kim, I.-J., 2015; Kim, I.-J., 2016) и иметь подошвы и каблуки с высокими характеристиками сопротивления скольжению (Kim, I.-J., Smith, R., & Nagata, H., 2001).

Известно, что при эксплуатации обуви контакт с ее опорной поверхностью, другими предметами и ногами человека носит постоянный характер. В результате поверхность трущихся деталей разрушается, изнашивается. Наиболее существенен этот износ для подошв и каблуков, так как при ходьбе именно эти детали низа обуви подвергаются истиранию и образованию разрывов, которые изменяют первоначальные топографические структуры (микро- и макро-рисунки протектора) поверхности обуви (Kim, I.-J., 2016). Прогрессирующий износ подошвы и каблука обуви, в свою очередь, влияет на характеристики сопротивления скольжению (Kim, I.-J., Smith, R., & Nagata, H., 2001).

Способность обуви противостоять скольжению в значительной степени влияет на утомляемость при ходьбе (Л. Л. Никитина, Т. В. Жуковская, Р. М. Галялутдинова, 2012). Сцепление низа обуви с грунтом (Л. Л. Никитина, Т. В. Жуковская, Р. М. Галялутдинова, 2012) и способность воспринимать динамические и статические нагрузки (биомеханические свойства) (Л. Л. Никитина, О. Е. Гаврилова, 2012) зависят от материала подошвы и набойки, вида грунта, рационального рифления подо-

швы, опорной поверхности каблука и др. (Л. Л. Никитина, Т. В. Жуковская, Р. М. Галялутдинова, 2012; Л. Л. Никитина, О. Е. Гаврилова, 2012).

Биомеханические свойства обуви в основном определяются показателями параметров амортизационных и фрикционных свойства низа обуви. Амортизационные свойства низа обуви характеризуют способность деталей низа ослаблять ударные нагрузки при ходьбе человека и рассредоточивать давление стопы на опорную поверхность, фрикционные свойства – устойчивость обуви на скользкой поверхности (Л. Л. Никитина, Т. В. Жуковская, Р. М. Галялутдинова, 2012; Л. Л. Никитина, О. Е. Гаврилова, 2012).

Биомеханика ходьбы человека оказывает большое влияние на характер сцепления подошвы обуви с опорной поверхностью. В процессе ходьбы происходит распределение давления на разные участки подошвы, что влияет на площадь фактического контакта ходовой части подошвы с поверхностью грунта (В. А. Харина, 2022).

Фактическая площадь касания определяется величиной номинальных давлений, упругими свойствами и шероховатостью контактируемых поверхностей. В трибологии принято считать, что фактическая площадь контакта намного меньше номинальной площади (Ciavarella M., Joe J., Papangelo A. and Barber J. R., 2019). Так площадь фактического контакта составляет от 0,0001 до 0,1 номинальной площади касания. Даже с учетом высоких нагрузок площадь фактического контакта не превышает 40 % номинальной площади (Н. Г. Полюшкин, 2013).

Известно, что на величину площади фактического контакта влияет рисунок рельефа ходовой поверхности подошвы, эластичность подошвенного материала, сила давления на стопу во время ходьбы, вид и состояние опорной поверхности. Так, площадь фактического кон-

такта увеличивается с повышением нагрузки на подошву и уменьшением неровностей на опорной поверхности, и уменьшается с увеличением модуля упругости подошвенных материалов (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989; В.А. Харина, 2022).

Номинальная площадь касания представляет собой зоны, в которых концентрируются пятна фактического касания. Для подошвы это площадь отпечатка на опоре в момент ступания. Номинальная площадь касания зависит от нагрузки, особенностей строения стопы, толщины и модуля упругости подошвы и всех деталей низа и т. д. (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989).

Контактное давление и фактическая площадь контакта играют существенную роль в механизмах сухого трения, скольжения и абразивного износа (Afferrante L., Carbone G., Demelio G., 2012). Так основной разрушающей силой при изнашивании подошвы при всех условиях носки являются удельные давления, возникающие в зоне контакта подошвы с опорой при ходьбе и беге, величина которых, вследствие особенностей строения стопы, неодинакова в различных участках ходовой стопы, что приводит к ее неравномерному изнашиванию (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989).

Удельное давление колеблется в довольно широких пределах: обычно оно составляет 4–7 кгс/см² в передней (носочной) части подошвы и около 2 кгс/см² – в пучковой (М. Г. Любич, 1966; Ю. П. Зыбин, В. М. Ключникова, Т. С. Кочеткова, В. А. Фукин, 1982; В. В. Костылева, В. М. Ключникова, 2025). Чем больше удельное давление, тем интенсивнее износ. Благодаря неровности ходовой поверхности кожаной подошвы площадь контакта ее с опорой [при нагрузке 50–60 кгс/см²] составляет около 2–3 % площади касания с опорой и фактическое удельное давление достигает 2 кгс/см² (В. В. Костылева, В. М. Ключникова, 2025)¹.

Согласно данным Платунова К. М., удельные давления для подошвенной кожи в зоне контакта подошвы с опорой в процессе носки имеют величины порядка 4–7 кгс/см², но в отдельных случаях в носочном участке они достигают 10 кгс/см² (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989).

Г. Е. Кутянин экспериментальным путем определял величину пятен действительного контакта подошвы с опорной поверхностью и общую площадь этих пятен под нагрузкой методом непосредственного наблюдения.

Образцы кожи для подошв прижимались к призме под давлением 5,7 кгс/см², микрофотографии полученных отпечатков обрабатывались для оценки площади фактического контакта с опорной поверхностью. Площадь фактического контакта с опорой для ношенной подметки составила 2,1 %, а для новой – 7,6 % от номинальной площади соприкосновения образца со стеклом. Различия в площади контакта могут возникать вследствие увеличения плотности и жесткости кожаной подошвы в процессе носки. Фактические удельные давления в 40–50 раз превышают номинальные, определенные К. М. Платуновым и приближаются к разрушающим для кожи (200–300 кгс/см²) (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989).

И. В. Крагельский и Е. Ф. Непомнящий определили, что площадь фактического контакта резины, имеющей при давлении 4 кгс/см² модуль упругости 30 кгс/см², с поверхностью бетонного покрытия составляет 55 % от номинальной площади. Для более гладкой опоры площадь фактического контакта будет еще больше (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989).

В указанной выше работе Г. Е. Кутянина площадь фактического контакта с опорной поверхностью определялась с помощью прибора с призмой полного внутреннего отражения (Н. Д. Закатова, Е. Я. Михеева, 1989). Схожие устройства применяются для получения отпечатка стопы с целью выявления плоскостопия и других патологий (А. В. Ключникова и Т. С. Кочеткова, 1991). Фотостопомеры позволяют получить изображение стопы с разных сторон. Например, фотоприбор Ильченко В. З. позволяет определять и фиксировать изображения габаритной зоны стопы с помощью оптической системы и фотоаппарата. Фотоприбор, разработанный в Болгарии, включает в себя оптические системы и фотообъективы. Фотостопомер Зыбина Ю. П. и Фукина В. А. использует метод косо́го ортоскопического проектирования. Стерефотостопометры позволяют получить объемное восприятие объекта. В устройстве для фотометрического исследования стоп² используются осветительные лампы, зеркала и матированная прозрачная опорная

² Устройство для фотометрического исследования стоп: пат. 1219051 СССР, А 61 В5/10 / И.В. Фишкин, М.Ю. Минович ; заявитель и патентообладатель Ивановский государственный медицинский институт им. А.С. Бубнова. – № 1219051 А ; заявл. 1984.05.10; опубл. 1986.03.23. // ВНИИПИ Гос. комитета СССР по делам изобретений и открытий. – 1986. – 4 с.

¹ Исходные единицы измерения – Па – переведены в кгс/см².

поверхность. Прибор³ для определения формы и размеров стопы также предполагает использование фотокамеры, зеркал и осветительных устройств, а устройство для бесконтактного измерения поверхности стопы⁴ работает в системе с ЭВМ.

Существуют программы, позволяющие обрабатывать плантограмму стопы, полученную не только с помощью цифровой фотокамеры, но и изображение стопы, полученное любым другим способом, который позволяет сохранить его на ЭВМ в цифровом виде (Ю. В. Милушкова, Д. Г. Козинец, А. Л. Ковалев, В. Е. Горбачик, 2008).

Описанные в литературе устройства и приборы позволяют получить отпечаток поверхности, но для дискретной оценки всей площади отпечатка, а не только

по внешним его границам, требуется использование специальных программ. Применение указанных выше приборов является затратным способом и имеет ограниченную доступность.

Целью данного исследования является разработка методики определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью, позволяющая установить площадь фактического контакта и рассчитать удельное давление в зоне контакта подошвы с опорой.

Объект, методы и средства исследования

Методика предназначена для определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью с целью дальнейшего расчета площади фактического контакта и удельного давления в зоне контакта подошвы с опорой, а также для оценки влияния рисунка наружной поверхности подошвы (протектора подошвы) обуви на отпечаток ходовой поверхности.

В качестве объекта исследования были выбраны современные формованные полимерные подошвы различных конструкций, используемые в производстве обуви на предприятиях Республики Беларусь. Внешний вид подошв обуви представлен на рисунке 1.

³ Прибор для определения формы и размеров стопы: пат. 991996 СССР, А 43 D1/100 / Н.И. Малец, С.А. Иванов, М.Н. Шерстобоев, Л.И.-О. Адигезалов, А.А. Касаткин. ; заявитель и патентообладатель Ленинградское ПО «Скороход». – № 991996 ; заявл. 1981.08.10; опубл. 1983.01.30. // ВНИИПИ Гос. комитета СССР по делам изобретений и открытий. – 1983. – 4 с.

⁴ Устройство для бесконтактного измерения поверхности стопы и голени: пат. 1586667 СССР, А 43 D 1/02 / А.Г. Комиссаров, Ю.А. Карагезян ; заявитель и патентообладатель Ленинградский институт текстильной и легкой промышленности им. С.М. Кирова. – № 1586667 А1 ; заявл. 1990.23.07; опубл. 1990.08.23. // ВНИИПИ Гос. комитета СССР по делам изобретений и открытий. – 1990. – 10 с.



Рисунок 1 – Внешний вид подошв обуви

Figure 1 – View of shoe soles

Для получения отпечатков, наиболее приближенных к реальным, получаемым при эксплуатации, подшву обуви соединяли с предварительно изготовленным стелечным узлом соответствующего размера и конфигурации с помощью двухстороннего скотча. Для этого использовались конструкции гибких стелечных узлов: стелька основная, полустелька нижняя, геленок. Стелечный узел и его составные части представлены на рисунке 2.

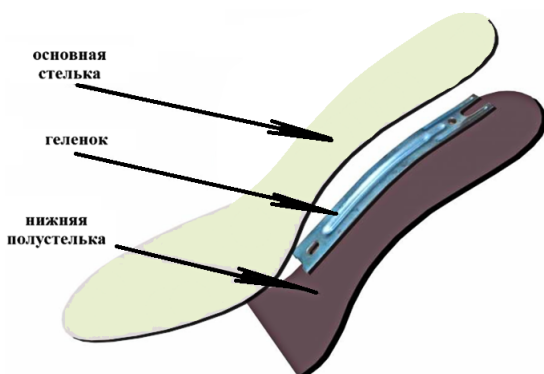


Рисунок 2 – Составные части трехслойного гибкого стелечного узла

Figure 2 – Components of a three-layer flexible insole unit

В качестве материала для основной стельки использовался целлюлозный картон Flexan (Konitex, Словения), для нижней полустельки картон повышенной жесткости Merckens CJM 188 (Merckens, Австрия), геленок – стальной толщиной 1 мм.

Характеристики основной стельки и нижней полустельки для подготовки испытуемого образца представлены в таблице 1.

Для оценки влияния конструкции стелечных узлов на величину фактической площади опоры подошвы, были также использованы стелечные узлы без геленка.

Для определения пятна контакта подошвы с опорной поверхностью использовали следующие приспособления и приборы:

- плантограф, предназначенный для снятия контура и отпечатка и представленный на рисунке 3;
- электроконтактный контурограф, применяемый для обвода габарита подошвы обуви на плантографе и представленный на рисунке 4.

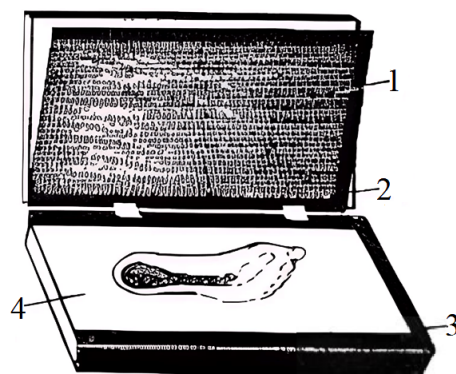


Рисунок 3 – Плантограф для снятия контура и отпечатка

Figure 3 – Plantograph for contour and imprint removal

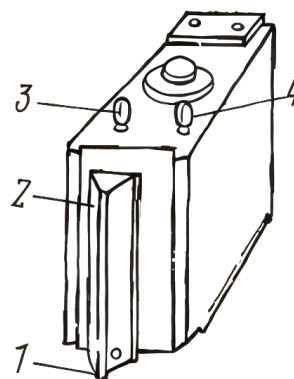


Рисунок 4 – Электроконтактный контурограф

Figure 4 – Electrical contact contour graph

Также применяли поливинилхлоридную пленку, штемпельную краску, лист плотной бумаги.

Плантограф состоит из основания 3 и шарнирно прикрепленной к нему рамки 2 с натянутой поливинилхлоридной пленкой 1. В основание вложена подушечка, на которую наносится штемпельная краска и кладется чистый лист бумаги 4.

Плантограф позволяет получить достаточно четкий и контрастный отпечаток фактической площади контакта подошвы с опорой при наименьших затратах.

Электроконтактный контурограф имеет рабочую часть в виде обводного треугольника 2 с очерчивающей иглой 1. Контроль за величиной давления этого треугольника на стопу обеспечивает электрическая схема, вклю-

Таблица 1 – Показатели физико-механических свойств материалов

Table 1 – Indicators of physical and mechanical properties of materials

Наименование показателя	MERCKENS CJM 188	Flexan
Толщина, мм	2,0	1,75
Плотность, г/см ³	1,06	0,48
Предел прочности при растяжении в сухом состоянии, МПа		
в продольном направлении	38,41	13,83
в поперечном направлении	23,46	6,91
Предел прочности при растяжении после замачивания в воде, МПа		
в продольном направлении	5,24	6,61
в поперечном направлении	2,50	3,91
Относительное удлинение в сухом состоянии, %		
в продольном направлении	9,3	6,2
в поперечном направлении	9,7	11,8
Относительное удлинение в мокром состоянии, %		
в продольном направлении	10,0	7,6
в поперечном направлении	14,2	17,0
Намокаемость за 2 ч., %	66,2	132,00
Изменение линейных размеров при увлажнении, %		
в продольном направлении	2,24	1,5
в поперечном направлении	4,67	1,6
Изменение линейных размеров при высушивании, %		
в продольном направлении	0,96	0,3
в поперечном направлении	1,45	0,5
Жёсткость при статическом изгибе, Н		
в продольном направлении	60,7	23,14
в поперечном направлении	53,38	15,19
Гигроскопичность, %	16,38	28,57
Влагоотдача, %	8,14	19,33

чающая сигнальные лампочки 3 и 4.

В процессе ходьбы происходит распределение давления на разные участки подошвы, что влияет на площадь фактического контакта ходовой части подошвы с поверхностью грунта. Так как на площадь фактического контакта ходовой части подошвы с поверхностью грунта оказывает влияние, как сказано выше, распределение давления на разные участки подошвы в процессе

ходьбы, то необходимо представить фазы ходьбы. Как известно, ходьбу человека условно можно разделить на три фазы (рассмотрим только опорную ногу): 1 фаза – стопа становится на опорную поверхность пяткой; 2 фаза – стопа с пятки перекачивается на всю плантарную поверхность; 3 фаза – стопа с плантарной поверхности переходит на опорную поверхность пальцев ноги для выполнения следующего шага. Представ-

ленные фазы ходьбы не позволяют проанализировать контакт всей ходовой части подошвы с поверхностью грунта, так как это динамическое состояние человека. В связи со сказанным выше немаловажным аспектом методики являлось то, что она рассчитана на определение пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью в статическом состоянии, т. е. в состоянии покоя (стоя).

Как известно, в статическом состоянии (состояние покоя) ходовая часть подошвы взаимодействует с выступом на опорной поверхности по линии или в точке, что согласуется с теорией Герца. Однако возникновение даже небольшой нагрузки приводит к деформации подошвенного материала вокруг выступа с образованием области касания [В. А. Харина, 2022] – фактического отпечатка подошвы на опоре.

Для снятия отпечатка и получения горизонтальной проекции подошвы обуви выполняли следующий алгоритм:

- на подушечку плантографа наносили штемпельную краску;
- чистый лист плотной бумаги укладывали на подушечку плантографа;
- опускали рамку 2 (рисунок 3) с натянутой поливинилхлоридной пленкой 1;
- подошву обуви устанавливали в плантограф на натянутую пленку;
- испытуемый аккуратно становился на систему подошва + стелечный узел, размещенную на полотне плантографа, переноса вес тела на одну ногу, не смещая и не деформируя его;
- фактический отпечаток подошвы на опоре получали путем обвода контурографом пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью.

Полученный фактический отпечаток подошвы на опоре по представленному выше алгоритму представлен на рисунке 5. Необходимо отметить, что для участия в исследовании привлекались носочки с различной массой тела, которые носят обувь 37 размера.

Для вычисления величины фактической площади контакта использовался многофункциональный растровый графический редактор Adobe Photoshop 2023.

Предварительно, для загрузки файла в программу цветное изображение с отпечатком подошвы сканировалось при высоком разрешении и сохранялось в формате JPG. С помощью графического редактора определялась площадь фактического отпечатка подошвы контрастного цвета в см². Для каждого образца подо-



Рисунок 5 – Отпечатки ходовой поверхности подошв носочков массой 60 кг и 77 кг

Figure 5 – Footprints of the walking surface of the soles of the wearers weighing 60 kg and 77 kg

швы также получали габаритный контур подошвы, площадь которых вычислялась с помощью САПР АСКО-2Д, предназначенного для проектирования и расчета площадей деталей обуви.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Так как Н. Б. Демкин отмечает, что под номинальной площадью касания понимают ту поверхность, при которой соприкасались бы два идеально гладких тела [Н. Б. Демкин, 1970], то номинальная площадь контакта совпадает с площадью номинальных поверхностей и представляет собой в данной работе площадь габарита подошвы обуви.

Значения величины номинальной и фактической площадей контакта, рассчитанные отношения величины площади фактического отпечатка к номинальной площади представлены в таблице 2. Также были рассчитаны удельные давления в зоне контакта подошвы с опорой, которые определялись отношением веса носочка к фактической площади контакта, без учета неравномерности распределения величины давления под различными участками стопы.

Анализируя данные таблицы 2 необходимо отметить, что из-за большого разнообразия вариантов рифления подошв, отношение величины площади фактического отпечатка к номинальной площади колеблется от 12 % до 56 %. Для сравнения результатов данного исследования можно привести исследование, в котором уста-

Таблица 2 – Результаты исследования площади контакта ходовой поверхности подошв с опорной поверхностью

Table 2 – Results of the study of the contact area of the walking surface of the soles with the supporting surface

Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Sn, см ²	159	193	127	247	179	178	177	205	183	164	187	121	105	118
Sф для Н1, см ²	43,9	42,3	36,8	44,6	97,4	44,4	37,5	31,6	67,0	44,9	33,1	15,0	35,1	25,9
Sф для Н2, см ²	60,0	45,9	47,1	52,4	100,8	51,9	52,0	32,9	68,9	71,3	41,4	26,1	52,9	31,1
О для Н1, %	28	22	29	18	54	25	21	15	37	27	18	12	33	22
О для Н2, %	38	24	37	21	56	29	29	16	38	43	22	22	50	26
Уд для Н1, кгс/см ²	1,37	1,42	1,63	1,35	0,62	1,35	1,60	1,90	0,90	1,34	1,81	3,99	1,71	2,31
Уд для Н2, кгс/см ²	1,28	1,68	1,63	1,47	0,76	1,48	1,48	2,34	1,12	1,08	1,86	2,95	1,46	2,47

Примечание: Sn – номинальная площадь контакта; Sф – фактическая площадь контакта; О – отношение величины площади фактического отпечатка к номинальной площади; Уд – удельные давления в зоне контакта подошвы с опорой: Н1 – для носчика с массой тела 60 кг, Н2 – для носчика с массой тела 77 кг.

навливалось «в какой степени подошва стопы обычно контактирует с внешними поверхностями». Участники исследования носили комплект популярной стандартизированной спортивной обуви своего размера, которая была оснащена чувствительными к давлению стельками. Считалось, что площадь контакта определена с высокой точностью и значительно варьировалась от 5 % до 95 % [Cleland L. D., Rowland H. M., Mazza C. and Saal H. P., 2023]. Сравнивая разброс полученных результатов, можно отметить, что в данной работе он гораздо ниже.

Разбегжка по величине площадей отпечатков для рассматриваемых подошв также оказалась очень большой – от 15,0 см² до 100,8 см². Соответственно отличаются и величины удельных давлений, наименьшие составили 0,62 кгс/см², наибольшие достигли 3,99 кгс/см². В конструкциях подошв с небольшой величиной фактического отпечатка в зоне контакта с опорой ускоряется износ ходовой поверхности подошвы, уменьшается её сцепление с опорой, что ухудшает фрикционные свойства низа обуви.

При увеличении нагрузки (замене носчика с массой тела 60 кг на носчика с массой тела 77 кг) отношение

величины площади фактического отпечатка к номинальной увеличивается на 2,7–83,3 %. Для всех образцов, кроме образцов № 1, № 7, № 10, № 12 и № 13 удельные давления в зоне контакта подошвы с опорой при увеличении нагрузки также увеличиваются на 2,8–23,5 % (для образца № 3 не изменяется). Для образца № 1 удельное давление снижается на 6,6 %, для образца № 7 на 7,5 %, для образца № 10 – на 19,4 %, для образца № 12 – на 26,0 % и для образца № 13 – на 14,6 %.

Необходимо отметить, что в работе проводилось сравнение площади фактического контакта подошвы с использованием стельчного узла без геленка и с геленком, которое показало, что влияние геленка на величину отпечатка для формованной подошвы практически отсутствует.

Также в работе проводилось сопоставление и сравнение полученных значений отношения величины площади фактического отпечатка к номинальной площади и удельных давлений в зоне контакта подошвы с опорой с известными значениями [М. Г. Любич, 1966; Ю. П. Зыбин, В. М. Ключникова, Т. С. Чочеткова, В. А. Фукин, 1982; В. В. Костылева, В. М. Ключникова, 2025; Н. Д. Закатова,

Е. Я. Михеева, 1989].

При сравнении полученных значений с известными значениями отношения площади фактического контакта к номинальной площади касания установлено, что для большинства образцов значения находятся в рамках известных, однако, как отмечалось выше, площадь фактического контакта не превышает 40 % номинальной площади, что не выполняется для образца № 5 как для носчика с массой тела 60 кг, так и для носчика с массой тела 77 кг, а также для образцов № 10 и № 13 для носчика с массой тела 77 кг. Для образца № 5 это объясняется гладкой поверхностью подошвы обуви, для образца № 10 – «равномерностью» рифления в носочной части и гладкой поверхностью в пяточной части подошвы, для образца № 13 – минимальной высотой и площадью выступов по сравнению с другими образцами. Необходимо также отметить, что так как в работе используется гладкая опора, то площадь фактического контакта может быть больше, как и отношение площади фактического контакта к номинальной площади. С ростом интереса к гибким материалам, таким как резина и полимеры, необходимо учитывать возможность больших контактных отношений, даже в упругом режиме, включая случаи, когда фактический контакт происходит везде, за исключением самых глубоких впадин (выступов) [Ciavarella M., Joe J., Papangelo A. and Barber J. R., 2019]. Считается, что более глубокие канавки и широко разнесенные рисунки уменьшают площадь контакта и улучшают рассеивание тепла, минимизируя износ и повышая долговечность [Xu S., De S., Khaleghian M., Emami A., 2025], однако в этом случае речь идет о крестообразном рисунке ходовой поверхности подошв, который не наблюдается у исследованных подошв обуви.

При сравнении полученных значений с известными значениями удельного давления установлено, что для всех образцов, кроме № 12 и № 14, а также для образца № 8 для носчика с массой тела 77 кг, значения значительно отличаются от установленных. Считается, что к уменьшению удельного давления приводит увеличение поверхности контакта стопы и опоры, что наблюдается при стоянии человека на опоре, соответствующей плантарной поверхности стопы на весу, а также при стоянии стопы на мягкой опоре, принимающей форму плантарной поверхности стопы [Л. Ю. Махоткина, Л. Л. Никитина, О. Е. Гаврилова, 2019]. Необходимо отметить, что удельное давление в зоне контакта подошвы с опорой не является нормируемой величиной и в виду большо-

го разнообразия вариантов рифления подошв может значительно отличаться как между образцами, так и от установленных значений для кожаной и резиновой подошв обуви.

Выводы

В результате проведенных исследований:

- разработана методика определения пятна контакта подошвы обуви с опорной поверхностью, позволяющая установить площадь фактического контакта и рассчитать удельное давление в зоне контакта подошвы с опорой, а также оценить в дальнейшем влияние рисунка наружной поверхности подошвы (протектора подошвы) обуви на отпечаток ходовой поверхности;

- установлена площадь контакта ходовой поверхности подошв с опорной поверхностью и рассчитаны удельные давления в зоне контакта подошвы с опорой, позволяющие в совокупности прогнозировать механизм износа для исследованных образцов;

- установлено, что по мере увеличения нагрузки отношение величины площади фактического отпечатка к номинальной площади также увеличивается, а значения удельного давления ведут так себя не для всех образцов;

- установлено, что значения отношения площади фактического контакта к номинальной площади касания для большинства образцов соответствует известным значениям;

- установлено, что значения удельного давления для всех образцов, кроме № 12 и № 14, а также для образца № 8 для носчика с массой тела 77 кг, значительно отличаются от установленных значений. Это объясняется большим разнообразием вариантов рифления подошв обуви; увеличением поверхности контакта стопы и опоры, так как исследование проводилось в статическом состоянии, т. е. в состоянии покоя (стоя), а известные значения удельного давления получены в процессе носки; а также тем фактом, что значения установлены для кожаной и резиновой подошв обуви, а в данной работе в качестве объекта исследования выступали современные формованные полимерные подошвы обуви.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Демкин, Н.Б. (1970). *Контактирование шероховатых поверхностей*. М.: Наука, СССР.
- Закатова, Н.Д., Михеева, Е.Я. (1966). *Эксплуатационные свойства обувных материалов и деталей*. Москва: Легкая индустрия, СССР.
- Зыбин, Ю.П., Ключникова, В.М., Кочеткова, Т.С. и Фукин, В.А. (1982). *Конструирование изделий из кожи*. М.: Легкая и пищевая промышленность, СССР.
- Ключникова, А.В., Кочеткова, Т.С. (1991). *Антропологические и биомеханические основы конструирования изделий из кожи*. Москва: Легпромбытиздат, СССР.
- Костылева, В.В., Ключникова, В.М. (2025). *Конструирование изделий из кожи*. Москва: ИНФРА-М, Российская Федерация.
- Любич, М.Г. (1966). *Товароведение обуви*. М.: Экономика, СССР.
- Махоткина, Л.Ю., Никитина, Л.Л., Гаврилова, О.Е. (2019). *Конструирование изделий легкой промышленности: конструирование изделий из кожи*. М.: ИНФРА-М, Российская Федерация.
- Милушкова, Ю.В., Козинец, Д.Г., Ковалев, А.Л. и Горбачик В.Е. (2008). Автоматизация процесса получения и обработки плантограмм, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, Т. 14, С. 35–40.
- Никитина, Л.Л., Гаврилова, О.Е. (2012). Современные полимерные материалы и эргономические свойства обуви, *Вестник Казанского технологического университета*, Т. 14, С. 139–142.
- Никитина, Л.Л., Жуковская, Т.В., Галялутдинова, Р.М. (2012). Полимерные материалы в обуви с улучшенными эргономическими характеристиками, *Вестник Казанского технологического университета*, Т. 7, С. 121–124.
- Полюшкин, Н.Г. (2013). *Основы теории трения, износа и смазки*. Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, Российская Федерация.
- Харина, В.А. (2022). *Исследование фрикционных свойств ходовой поверхности подошв и повышение антискользких характеристик обуви*: дисс. канд. техн. наук. Новосибирск: Новосибирский технологический институт (филиал) Российского государственного университета им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство).
- Afferrante, L., Carbone, G., Demelio, G. (2012). Interacting and coalescing Hertzian asperities: A new multiasperity contact model, *Wear*, vol. 278–279, pp. 28–33.
- Ciavarella, M., Joe, J., Papangelo, A. and Barber, J.R. (2019). The role of adhesion in contact mechanics, *Journal of the royal society interface*, vol. 16(151): 20180738.
- Cleland, L.D., Rowland, H.M., Mazza, C. and Saal, H.P. (2023). Complexity of spatio-temporal plantar pressure patterns during everyday behaviours, *Journal of the royal society interface*, vol. 20(203): 20230052.
- Kim, I.-J., Smith, R. and Nagata, H. (2001). Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 28(1), pp. 17–29.
- Kim, I.-J. (2015). Wear Observation of Shoe Surfaces: Application for Slip and Fall Safety Assessments, *Tribology Transactions*, vol. 58(3), pp. 407–417.
- Kim, I.-J. (2016). Identifying shoe wear mechanisms and associated tribological characteristics: Importance for slip resistance evaluation, *Wear*, vol. 360–361, pp. 77–86.
- Xu, S., De, S., Khaleghian M. and Emami, A. (2025). Wear Resistance of Additively Manufactured Footwear Soles, *Lubricants*, vol. 13(2):13020089.

REFERENCES

- Demkin, N.B. (1970). *Kontaktirovanie sherohovatykh poverkhnostey* [Contacting of rough surfaces]. Moscow: Nauka, USSR [In Russian].

- Zakatova, N.D., Mikheeva, E.Ya. (1966). *Jekspluatacionnye svojstva obuvnyh materialov i detalej* [Operational properties of shoe materials and parts]. Moscow: Light industry, USSR (In Russian).
- Zybin, Yu.P., Klyuchnikova, V.M., Kochetkova, T.S. and Fukin, V.A. (1982). *Konstruirovanie izdelij iz kozhi* [Design of leather goods]. Moscow: Light and food industry, USSR (In Russian).
- Klyuchnikova, A.V., Kochetkova, T. S. (1991). *Antropologicheskie i biomehanicheskie osnovy konstruirovaniya izdelij iz kozhi* [Anthropological and biomechanical foundations of designing leather goods]. Moscow: Legprombytizdat, USSR (In Russian).
- Kostyleva, V.V., Klyuchnikova, V. M. (2025). *Konstruirovanie izdelij iz kozhi* [Design of leather goods]. Moscow: INFRA-M, Russian Federation (In Russian).
- Lyubich, M.G. (1966). *Tovarovedenie obuvi* [Commodity science of footwear]. M.: Economy, USSR (In Russian).
- Makhotkina, L.Yu., Nikitina, L.L., Gavrilova, O.E. (2019). *Konstruirovanie izdelij legkoj promyshlennosti: konstruirovanie izdelij iz kozhi* [Design of light industry products: design of leather products]. M.: INFRA-M, Russian Federation (In Russian).
- Milyushkova, Yu.V., Kozinets, D.G., Kovalev, A.L. and Gorbachik, V.E. (2008). Automation of the process of obtaining and processing plantograms [Automatizacija processa poluchenija i obrabotki plantogramm], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, vol. 14. P. 35–40 (In Russian).
- Nikitina, L.L., Gavrilova, O.E. (2012). Modern polymeric materials and ergonomic properties of footwear [Sovremennye polimernye materialy i ergonomicheskie svojstva obuvi], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University*, vol. 14, P. 139–142 (In Russian).
- Nikitina, L.L., Zhukovskaya, T.V., Galyalutdinova, R.M. (2012). Polymer materials in footwear with improved ergonomic characteristics [Polimernye materialy v obuvi s uluchshennymi ergonomicheskimi harakteristikami], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Kazan Technological University*, vol. 7, pp. 121–124 (In Russian).
- Polyushkin, N.G. (2013). *Osnovy teorii trenija, iznosa i smazki* [Fundamentals of the theory of friction, wear and lubrication]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk state agrarian univ., Russian Federation (In Russian).
- Kharina, V.A. (2022). Study of the friction properties of the walking surface of soles and improving the anti-slip characteristics of shoes: diss. Cand. Sc. (Eng.) [Issledovanie frikcionnyh svojstv hodovoj poverhnosti podoshv i povyshenie antiskol'zjashhih harakteristik obuvi: diss. kand. tehn. nauk.]. Novosibirsk: Novosibirsk Technological Institute (branch) of the Russian State University named after A. N. Kosygin (Technologies. Design. Art) (In Russian).
- Afferrante, L., Carbone, G., Demelio, G. (2012). Interacting and coalescing Hertzian asperities: A new multiasperity contact model, *Wear*, vol. 278–279, pp. 28–33.
- Ciavarella, M., Joe, J., Papangelo, A. and Barber, J.R. (2019). The role of adhesion in contact mechanics, *Journal of the royal society interface*, vol. 16(151): 20180738.
- Cleland, L.D., Rowland, H.M., Mazza, C. and Saal, H.P. (2023). Complexity of spatio-temporal plantar pressure patterns during everyday behaviours, *Journal of the royal society interface*, vol. 20(203): 20230052.
- Kim, I.-J., Smith, R. and Nagata, H. (2001). Microscopic observations of the progressive wear on shoe surfaces that affect the slip resistance characteristics, *International Journal of Industrial Ergonomics*, vol. 28(1), pp. 17–29.
- Kim, I.-J. (2015). Wear Observation of Shoe Surfaces: Application for Slip and Fall Safety Assessments, *Tribology Transactions*, vol. 58(3), pp. 407–417.
- Kim, I.-J. (2016). Identifying shoe wear mechanisms and associated tribological characteristics: Importance for slip resistance evaluation, *Wear*, vol. 360–361, pp. 77–86.
- Xu, S., De, S., Khaleghian M. and Emami, A. (2025). Wear Resistance of Additively Manufactured Footwear Soles, *Lubricants*, vol. 13(2):13020089.

Информация об авторах

Information about the authors

Радюк Анастасия Николаевна

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

E-mail: ana.r.13@mail.ru

Борисова Татьяна Михайловна

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

E-mail: kaversy@mail.ru

Нейфельд Мария Александровна

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

E-mail: mneufeld8@yandex.by

Буркин Александр Николаевич

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

E-mail: a.burkin@tut.by

Anastasia N. Radyuk

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

E-mail: ana.r.13@mail.ru

Tatsiana M. Borisova

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

E-mail: ana.r.13@mail.ru

Maria A. Neufeld

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

E-mail: mneufeld8@yandex.by

Alexander N. Burkin

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

E-mail: a.burkin@tut.by

Проектирование структуры многофактурной льносодержащей ткани

Н. С. Акиндинова

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящее время широко используются синтетические материалы бытового назначения с разноуплотнёнными участками и сочетанием различных фактур в одной ткани. Этот эффект является трендом современной моды. При этом Республика Беларусь обладает достаточной сырьевой базой, широкими техническими возможностями и научным заделом для разработки и реализации технологий изготовления натуральных льносодержащих разноуплотнённых тканей с многофактурной поверхностью из отечественного натурального льносодержащего сырья. Натуральные материалы имеют неоспоримые преимущества и ценятся во всём мире, но льняные ткани в большинстве своём имеют не высокую драпируемость для формирования красивых складок в одежде или в домашнем текстиле. Разработка структур льносодержащих тканей, состоящих из участков различной слойности и заполнения – от прозрачных тонких до заполненных утолщённых, позволят не только создать разноуплотнённые ткани универсального использования, но и совершенно новые фактуры, не имеющие аналогов. Благодаря внедрению новой технологии становится возможным изготовление импортозамещающего ассортимента конкурентоспособных тканей и изделий, что говорит об актуальности работы. Целью работы является создание новых структур экологических многофактурных разноуплотнённых льносодержащих тканей нового вида универсального назначения, отвечающих требованиям современной моды и потребностям рынка. В статье проведён анализ структур тканей с различным количеством слоёв, предложены льняные и льносодержащие пряжи различного сырьевого состава и линейной плотности, разработаны экспериментальные одно-, двух-, трёхслойные и многослойные структуры различной поверхностной плотности для изготовления опытных образцов тканей нового вида, разработан универсальный рисунок для одежного и домашнего текстиля, технический рисунок, ассортимент переплетений для создания фактурных эффектов поверхности.

Ключевые слова: основа, уток, натяжение нитей, ткань, пряжа, поверхностная плотность, линейная плотность, ткацкий станок, уработка, обрывность, нити, пряжа, переплетения, проектирование, структура, котонинсодержащая пряжа.

Информация о статье: поступила 06 марта 2024 года.

Designing the structure of a multi-textured flax-containing fabric

Natallia S. Akindzinava

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. Currently, synthetic household materials with multi-dense areas and a combination of different textures in one fabric are widely used. This design approach aligns with contemporary fashion trends. At the same time, the Republic of Belarus has a sufficient raw material base, extensive technical capabilities and scientific groundwork for the development and implementation of technologies for the manufacture of natural flax-containing multi-dense fabrics with a multi-textured surface derived from domestic natural flax-containing raw materials. Natural materials have undeniable advantages and are appreciated all over the world, but linen fabrics generally lack high drapability, limiting their ability to form elegant folds in clothing or in home textiles. The development of structures of flax-containing fabrics consisting of sections of various layering and filling – from transparent thin to filled thickened ones – will allow not only to create multi-dense fabrics of universal use, but also entirely new textures with no existing analogues. Thanks to the introduction of new technology, it becomes possible to manufacture an import-substituting range of competitive fabrics and products, which highlights the relevance of the study.

The aim of the work is to create new structures of eco-friendly, multi-textured, multi-dense flax-containing fabrics with versatile applications that align with requirements of modern fashion and market needs.

The article analyzes the structures of fabrics with different numbers of layers, proposes linen and flax-containing yarns of various raw materials and linear densities for the manufacture of prototypes of a new type of fabrics, Experimental single-, double-, triple- and multi-layer structures of various surface densities have been developed for the production of prototypes of new types of fabrics. A universal pattern for clothing and home textiles, a technical pattern, and a range of weaves for creating textured surface effects were developed.

Keywords: warp, weft, thread tension, fabric, yarn, surface density, linear density, loom, processing, breakage, threads, yarn, weaves, design, structure, cotton-containing yarn.

Article info: received March 06, 2024.

Введение

На протяжении последних лет большое значение приобретают качество и утилитарность, разнообразие фактур и художественно-колористическое оформление тканей для одежды. В тренде так же ткани традиционных структур (креп, крепдешин, габардин, трико, драп и др.), мода предоставляет неограниченные возможности использования их для различных видов одежды (З. А. Яминзода, 2021). В основу развития ассортимента бытовых тканей положено их соответствие требованиям современного потребителя, поэтому всё большую популярность приобретают дизайнерские разнофактурные ткани. Фактура их поверхности изменяется в зависимости от рода волокнистого материала, структуры пряжи, переплетения, плотности ткани и отделочных операций. Переплетение не только определяет внешний вид тканей, но и изменяет их свойства (Ю. А. Орлова, А. П. Неоронова, Т. Е. Патина, 2018). Расширение ассортимента материалов происходит за счет использования новых видов волокон, комбинации различных видов переплетений, внедрения новых технологий (Г. А. Умерова, З. Р. Абкеримова, 2016). Особую актуальность приобретают новые методы проектирования структур тканей (С. Г. Керимов, А. В. Постников, А. В. Маркелов, 2017; А. П. Гречухин, А. Хабибуллоев, П. Н. Рудовский, М. Д. Рудковский, 2021; П. А. Севастьянов, Т. А. Самойлов, В. В. Монахов, 2019). В современных условиях быстро меняющихся предпочтений потребителей, важную роль в создании новых дизайнов и производственных процессов играет САПР. С помощью различных программ путём комбинации двух или более переплетений создаются не только жаккардовые рисунки и структуры, но и новые фактуры ремизных тканей (N. Saini, S. Yadav and M. N. Rose, 2018). При использовании различных видов переплетений возникает большая вероятность появления провисов нитей основы ткацкого станка из-за накопления разницы в длинах нитей основы, намотанных

на один навои, поэтому прогнозирование уработки нитей основы по ширине раппорта, является актуальной задачей проектирования (П. Г. Деркаченко, Е. С. Милеева, Т. А. Антонова, В. Ф. Захарченко, 2022). Для обеспечения технологичности процесса ткачества при разработке жаккардовых рисунков переплетения в узоре необходимо располагать равномерно по раппорту для выравнивания уработки основы по ширине заправки станка (Г. В. Казарновская, Е. С. Милеева, 2022; Ф. А. Валиев, М. Н. Нуриев, 2019; Г. И. Толубеева, И. Г. Якубова и С. Г. Пярти, 2012; Tolubeeva, 2012 a, 2012 b, 2012 c). Одним из результатов разработки автоматизированного метода построения рисунков переплетений для выработки двухслойных тканей с переходом нитей из слоя в слой является использование вспомогательных переплетений, значительно упрощающих алгоритм построения (С. В. Малецкая и К. В. Мелюшкин, 2007; С. В. Малецкая, В. В. Малецкий 2015). Ряд работ посвящено проектированию ремизных и жаккардовых тканей смешанных структур с целью улучшения их художественно-колористического оформления. В структуре одной ткани предлагается использовать участки однослойного, двухслойного, полого, в два с половиной слоя, гобеленового, репсового строения, что позволяет создать в двухслойных жаккардовых тканях современный актуальный объёмный рисунок (Г. В. Казарновская, 2017). Созданы льносодержащие костюмные ткани в продольную полосу, базой для рисунка которых послужили рубчиковые переплетения. Благодаря применению уточных репсов с различной длиной перекрытий, использованием нескольких переплетений в качестве закрепляющих и в просновках в одном рисунке, достигнут объёмный эффект, приближающий разработанные ткани к тканям сложного строения (Г. В. Казарновская, Е. С. Милеева, 2022). Для придания тканям различных эффектов используются всевозможные сырьевые смеси, исследование показателей структуры и потребительских

свойств сорочечных и платьенно-костюмных тканей, выработанных из нетрадиционной 3-х компонентной льносодержащей пряжи показало улучшение их свойств [О. А. Труевцева, В. А. Браславский, С. А. Веселова, 2011]. Разработана методология проектирования однослойных тканых полотен с визуальными объемными эффектами, которая позволяет производить технологичные ткани с объемными фактурами поверхности [Г. И. Толубеева, 2012; Г. И. Толубеева и Н. А. Коробов, 2013]. Использование разнофактурных нитей в одной ткани так же является актуальным направлением проектирования [Э. А. Кумпикайте, А. А. Рагайшене, 2013]. Разрабатывают переменные структуры ткани с функциональными свойствами, которые на различных участках имеют различную толщину [С. Б. Хамраева, Д. Н. Кадилова, 2024], для создания объемных эффектов декоративных жаккардовых тканей пониженной поверхностной плотности используют комбинированные хлопкольнополиэфирные нити [А. М. Горбачева, А. Г. Коган, Н. С. Акиндинова, 2019]. Большое значение при формировании многофактурных костюмных тканей имеют показатели воздухопроницаемости и разрывной нагрузки, которые на различных участках ткани меняются с изменением величины её усадки [Р. Д. Акбаров, С. А. Хамраева, Ф. Р. Танибердиев, 2022]. Таким образом, разработка структур многофактурных разнотканых льносодержащих тканей базируется на результатах многочисленных научных исследований, позволяет расширить ассортимент льносодержащих тканей различного назначения, обладающих новыми свойствами и современным внешним видом.

Целью исследования является разработка новых разнотканых переплетений, позволяющих получить многофактурные эффекты поверхности и структуры льносодержащих бытовых тканей различного назначения, расширить их ассортимент и конкурентоспособность.

Объектом исследования являются структуры льносодержащих жаккардовых тканей костюмного и декоративного назначения.

Предметом исследования являются ткацкие переплетения, формирующие различное количество слоёв жаккардовой ткани.

Методы и средства исследований

Для получения многофактурных льносодержащих структур тканей, обладающих новыми эффектами поверхности и потребительскими свойствами, предложено сочетать в одной структуре полые и соединённые

участки, используя в одном из слоёв многослойные переплетения, способствующие в процессе стирки, формированию эластичной стягивающей подложки для второго слоя жаккардовой ткани. Это позволит распределить нити основы и утка таким образом, что расстояния между нитями в разных слоях одной и той же ткани увеличиваются или уменьшаются по сравнению с прилегающими фрагментами рисунка, что значительно разнообразит их фактуру поверхности.

Эксперимент проводился в условиях производства РУПТП «Оршанский льнокомбинат» на установленном в производстве оборудовании: для перематывания основной и уточной пряжи использованы мотальный автомат Polar M/L фирмы «Savio»; для снования – сновальная машина Warp Direct 800 фирмы «Karl Mayer»; для шлихтования применяются шлихтовальные машины Rotal фирмы «Karl Mayer», пробирание производилось на основопроборном автомате фирмы «Barber-Colman»; в ткачестве использован рапирный ткацкий станок фирмы Pikanol с жаккардовой машиной фирмы Bonas. Для разработки и патронирования рисунка использовались программы Adobe Photoshop и программный комплекс «ERES».

С целью получения максимально выраженного и художественно разработанного многофактурного разнотканного рисунка на ткани предложено использовать в утке крашеную котонинсодержащую пряжу линейной плотности 110 и 50 текс, обладающую повышенной способностью к усадке в процессе мокрой обработки. В структуре так же могут быть использованы нити основы и утка в слоях, обладающие низкой способностью к усадке – пряжа мокрого способа прядения линейной плотности 56 текс.

Результаты исследований

Для получения максимально выраженного и художественно разработанного многофактурного разнотканного рисунка на ткани в процессе выполнения работы исследованы переплетения различной слоистости – двухслойные (2 слоя), многослойные (4–7 слоёв), гобеленовые (3–4 слоя), просвечивающиеся (1 слой), полутораслойные (1,5 слоя), а так же разработаны переплетения нового вида и строения, представленные на рисунках 1–5.

Как видно из разреза (б), структура переплетения № 1 имеет сложное строение, является полый и состоит из двух слоёв, каждый из которых представляет собой совершенно разные структуры ткани: репсовую и много-

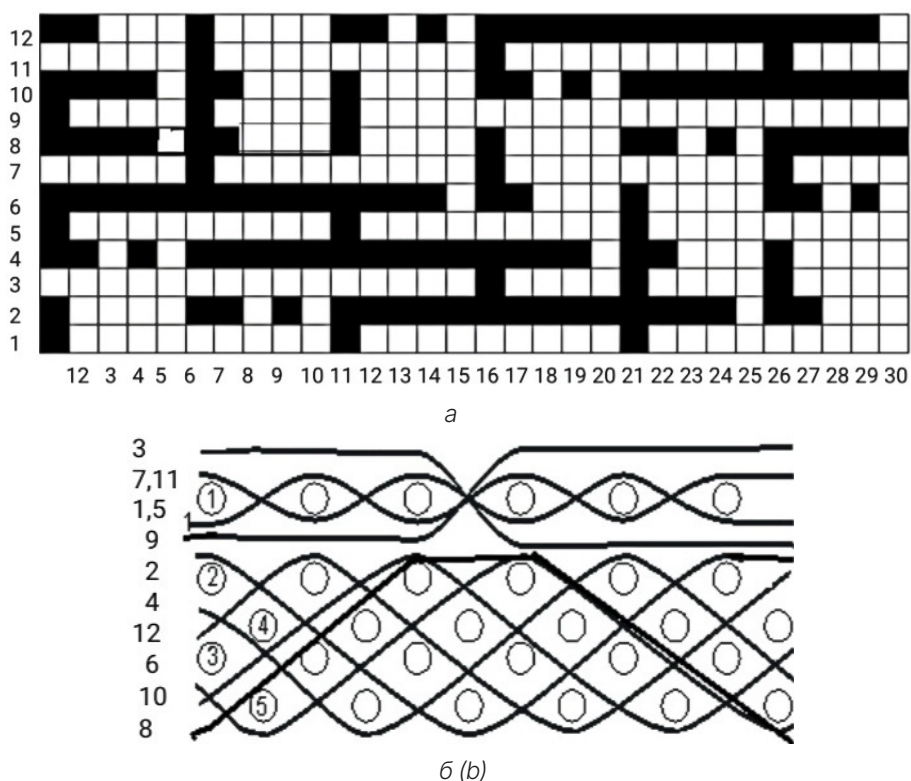


Рисунок 1 – Переплетения № 1 (а) для выработки многофактурной разноуплотненной ткани
и поперечный разрез ткани (б)

Figure 1 – Weaves № 1 (a) for the production of a multi-textured, multi-dense fabric
and a cross-section of the fabric (b)

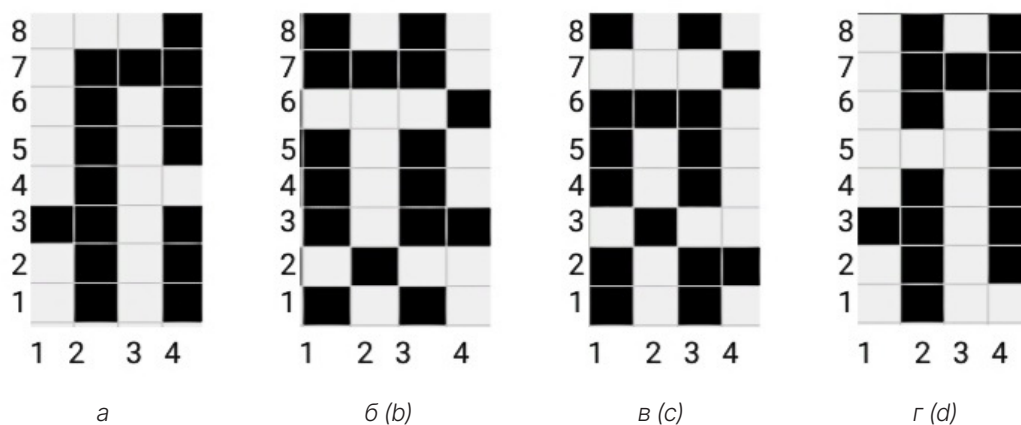


Рисунок 2 – Переплетения двухслойные № 2 (а), № 5 (г) и гобеленовые № 3 (б), № 4 (в)
Figure 2 – Interlacing two-layer № 2 (a), № 5 (d) and tapestry № 3 (b), № 4 (c)

слойную (четырёхслойную). При использовании в такой структуре в одном из слоёв высокоусадочной пряжи, а в другой низкоусадочной, в процессе мокрой обработки становится возможным получение двух вариантов эф-

фекта поверхности. Первый вариант – при использовании высокоусадочной пряжи в верхнем слое, на лицевой поверхности появляется вогнутый рубчиковый эффект, на изнаночной стороне – выпуклый и объёмный эффект. При использовании высокоусадочной пряжи в нижнем слое, на лицевой поверхности проявляется выпуклый эффект рубчиковой поверхности за счёт того, что нижний четырёхслойный слой будет уплотняться и нити основы в нём будут стремиться расположиться друг под другом за счёт высокой усадки нитей утка этого слоя.

Разработаны двухслойные переплетения № 2 и № 5 [а, г] с прокладными нитями утка, которые будут разуплотнять структуру ткани, верхний и нижний слои которой создают эффект полотняного переплетения. Вид гобеленовых переплетений, позволяющих сочетать две структуры гобеленов в одной ткани – смешанный гобелен, является наиболее приемлемой для производства современных гобеленовых тканей нового вида из-за ряда преимуществ. В смешанном гобелене – две (или

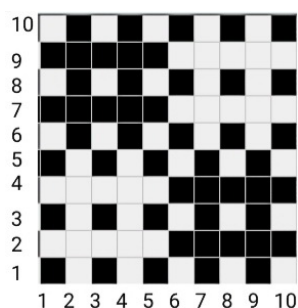


Рисунок 3 – Переплетение № 6
(однослойное просвечивающееся)
Figure 3 – Weave № 6 (single-layer translucent)

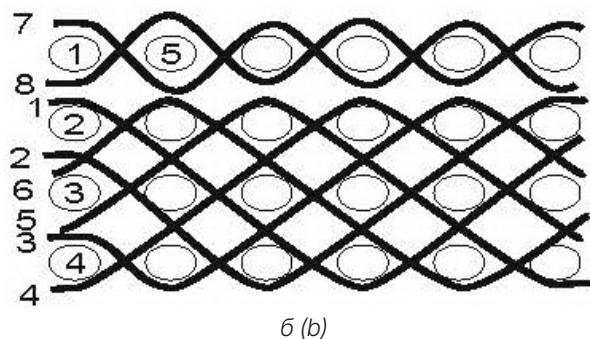
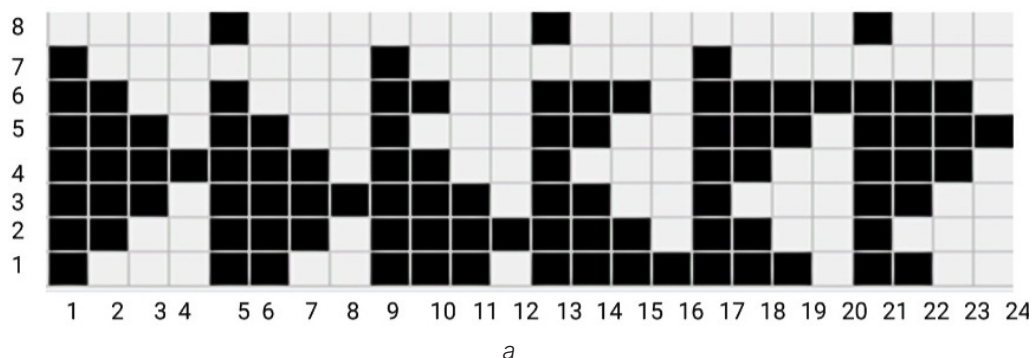


Рисунок 4 – Переплетение № 7 (а) для выработки многофактурной разноуплотненной ткани
и поперечный разрез ткани (б)

Figure 4 – Weave № 7 (a) for the production of a multi-textured, multi-dense fabric
and a cross-section of the fabric (b)

три) системы коренной основы и одна система прижимной основы. Все основные системы стали уточными и поэтому в ткани – от трёх до шести систем коренных уточных нитей и одна прижимная. Независимо от сложности построения, любому классическому основному гобеленовому переплетению соответствует переплетение, повёрнутое на 90° (смешанный гобелен), способное создать цветовой и фактурный эффект поверхности ткани, аналогичный базовой. Для этого необходимо, чтобы структура, сырьевой состав и цвет уточных нитей в ткани повторяли характеристики соответствующих основных нитей классического гобелена.

Представленные на рисунке модельные переплетения № 3 и № 4 [б, в] позволят получить структуру смешанного гобелена, в котором все условные слои ткани соединены между собой и при последующей мокрой обработке и сушке ткани, позволят получить плоский эффект поверхности.

Использование в структуре ткани просвечивающегося переплетения позволит получить участки ткани

повышенной воздухопроницаемости с распределением нитей в ткани таким образом, что после мокрой обработки появятся просветы и уплотнённые места на площади данного переплетения, которая может создавать эффект воздушности при использовании пряжи малой линейной плотности.

На рисунке 4 представлена структура полрой ткани, состоящей из двух слоёв, при этом, верхний слой выработан полотняным переплетением, а нижний – трёхслойным. При использовании в слоях высокоусадочной пряжи в сочетании с малоусадочной, в процессе отделки варианты полученных эффектов аналогичны первому переплетению, но поверхность верхнего слоя будет представлять собой равномерную фактуру без продольного рубчика.

На рисунке 5 представлено классическое четырёхслойное переплетение, которое, благодаря многослойности, будет увеличивать толщину ткани и располагать нити основы друг под другом, уменьшая площадь и ширину ткацких эффектов.

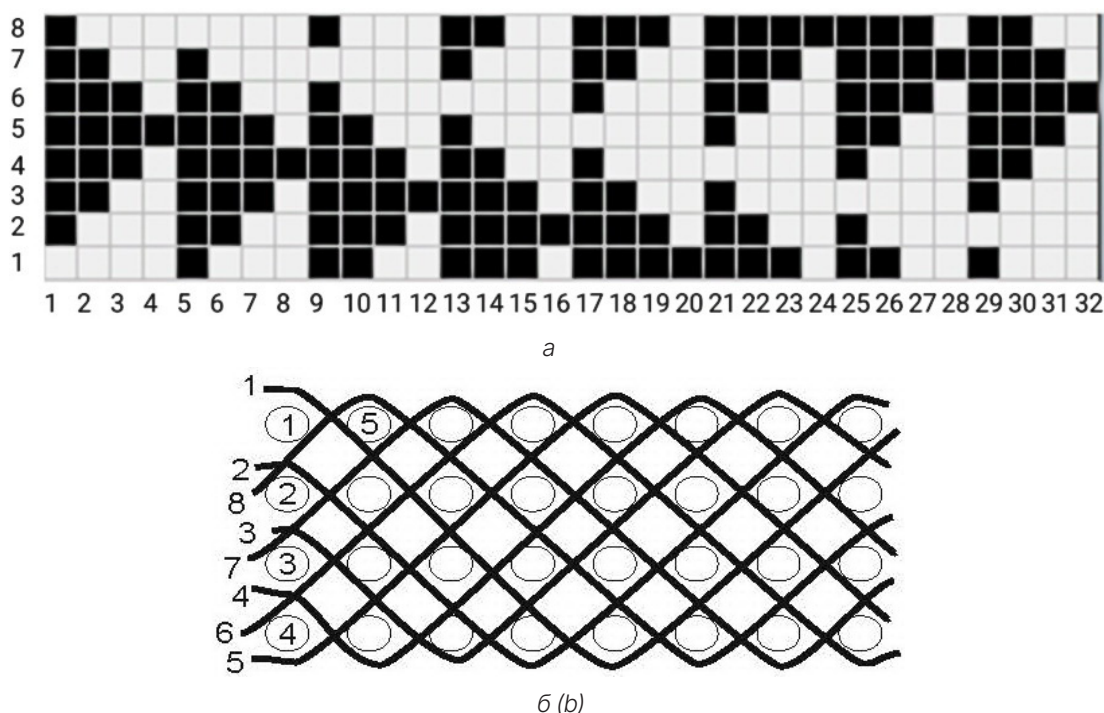


Рисунок 5 – Модельное переплетение № 8 (а) для четырёхслойной структуры ткани и поперечный разрез (б)
Figure 5 – Model weave № 8 (a) for a four-layer fabric structure and a cross section (b)

Принцип изготовления текстильных материалов, обладающих специфическими свойствами (разноуплотненностью и многофактурностью), заключается в смешивании высокоусадочных (с усадкой 17–35 %) и низкоусадочных нитей и применением разноструктурных переплетений. Таким образом, получается ткань, обладающая способностью изменять свои линейные размеры на необходимых (по рисунку) участках, в результате применения термовлажностной обработки в свободном (ненатянута) состоянии. При этом высокоусадочный компонент укорачивается, принимая более определенную ориентацию. Низкоусадочный компонент принимает менее ориентированное положение в том же направлении. Чем больше усадка высокоусадочного компонента, тем с большей объемностью можно получить текстильный материал.

Опытные образцы тканей, наработанные представленными переплетениями исследованы в лаборатории предприятия после их стирки в свободном состоянии с целью определения их толщины и плотности нитей в слоях.

С учётом направлений моды разработан эскиз рисунка и технический рисунок, проведена корректировка патрона. Рисунок обработан таким образом, чтобы на ткани проявился зернистый эффект в стиле «гранж»

с целью получения крепоподобной «живой» фактуры. Откорректированный патрон представлен на рисунке 6.

Размер сокращенного патрона составляет: по основе $Ro = 640$, по утку $Ry = 488$.

Предложено два варианта реализации данного рисунка.

Первый вариант – развернуть патрон по основе в 2 раза, по утку – в 4 раза.

Таким образом, развернутый патрон имеет раппорт по основе $Ro = 1280$, по утку $Ry = 1952$, по ширине ткани рисунок повторяется 2 раза (2560 крючков в заправке фона).

Второй вариант: развернутый патрон: $Ro = 640$, $Ry = 488$, по ширине ткани повторяется 4 раза (2560 крючков в заправке фона).

Плотность по утку 26 нитей на сантиметр. В качестве утка используются цветные нити четырёх видов.

При проектировании жаккардовой ткани необходимо предоставлять оператору-патронисту количественные данные, характеризующие цветовой эффект патрона для идентификации и исключения технической ошибки при патронировании. В разработанном рисунке используется 40 цветовых (ткацких) эффектов, которые оформлены в виде таблицы, часть которой представлена в таблице 1, содержащей цветовые эффекты и мо-

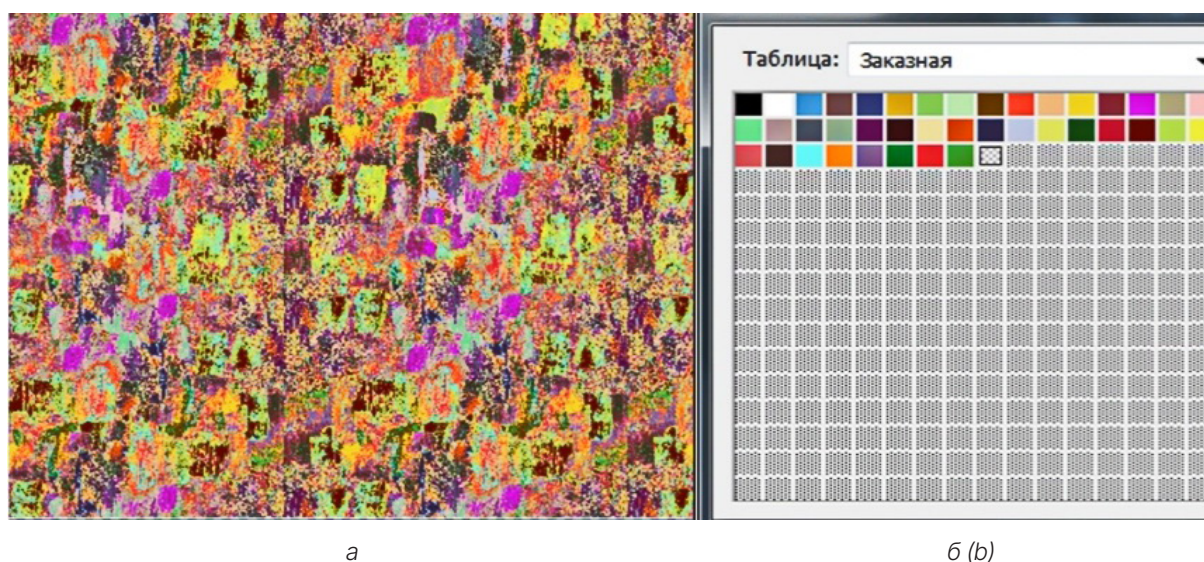
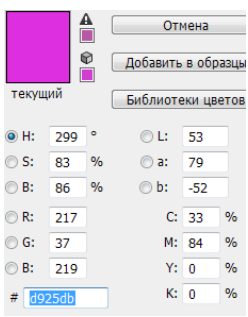
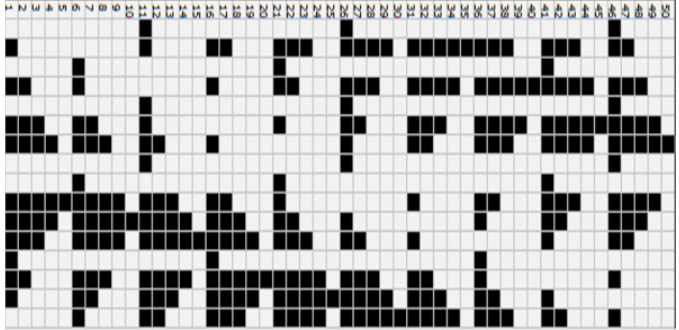
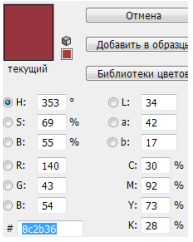
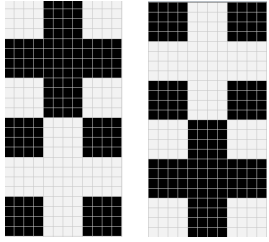
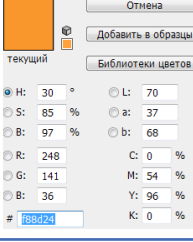
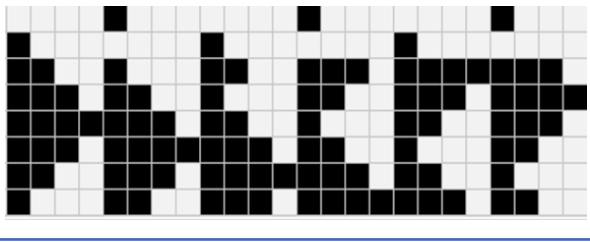
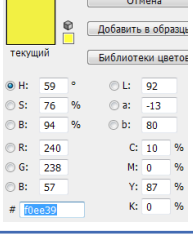
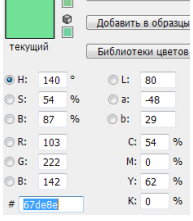
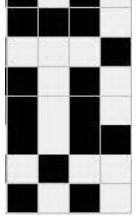


Рисунок 6 – Откорректированный патрон (а), таблица используемых цветовых эффектов (б)

Figure 6 – Adjusted cartridge (a), table of used color effects (b)

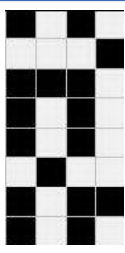
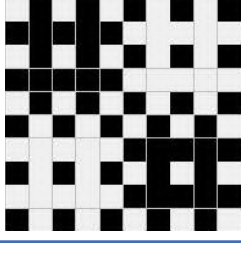
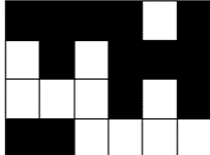
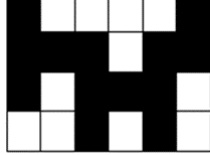
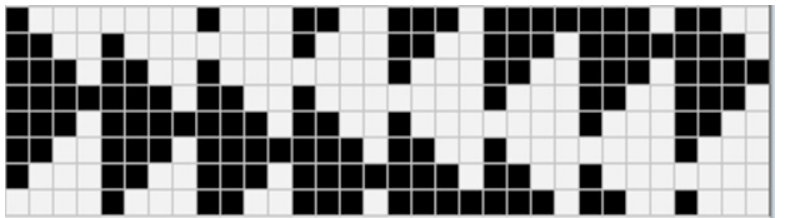
Таблица 1 – Входные данные для реализации жаккардового рисунка

Table 1 – Input data for the implementation of the jacquard pattern

Цветовые эффекты патрона	Модельные переплетения, соответствующие цветовым эффектам (чередование цветов нитей основы – 1 чёрная, 1 белая)
 текущий ● H: 299 ° ● L: 53 ● S: 83 % ● a: 79 ● B: 86 % ● b: -52 ● R: 217 C: 33 % ● G: 37 M: 84 % ● B: 219 Y: 0 % # d925db K: 0 %	
 текущий ● H: 353 ° ● L: 34 ● S: 69 % ● a: 42 ● B: 55 % ● b: 17 ● R: 140 C: 30 % ● G: 43 M: 92 % ● B: 54 Y: 73 % # 822036 K: 28 %	
 текущий ● H: 30 ° ● L: 70 ● S: 85 % ● a: 37 ● B: 97 % ● b: 68 ● R: 248 C: 0 % ● G: 141 M: 54 % ● B: 36 Y: 96 % # f88024 K: 0 %	
 текущий ● H: 59 ° ● L: 92 ● S: 76 % ● a: -13 ● B: 94 % ● b: 80 ● R: 240 C: 10 % ● G: 238 M: 0 % ● B: 57 Y: 87 % # fde025 K: 0 %	
 текущий ● H: 140 ° ● L: 80 ● S: 54 % ● a: -48 ● B: 87 % ● b: 29 ● R: 103 C: 54 % ● G: 222 M: 0 % ● B: 142 Y: 62 % # 57c0a9 K: 0 %	

Окончание таблицы 1 – Входные данные для реализации жаккардового рисунка

End of Table 1 – Input data for the implementation of the jacquard pattern

Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 8 ° S: 74 % B: 96 % R: 246 G: 88 B: 63 # 105831 L: 60 a: 61 b: 48 C: 0 % M: 81 % Y: 79 % K: 0 %	
Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 181 ° S: 59 % B: 97 % R: 102 G: 246 B: 248 # 56166 L: 89 a: -40 b: -13 C: 44 % M: 0 % Y: 12 % K: 0 %	
Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 0 ° S: 14 % B: 70 % R: 179 G: 154 B: 154 # 352929 L: 66 a: 10 b: 4 C: 31 % M: 39 % Y: 33 % K: 1 %	
Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 0 ° S: 21 % B: 96 % R: 245 G: 193 B: 193 # 5c1c1c L: 83 a: 19 b: 8 C: 2 % M: 28 % Y: 15 % K: 0 %	4 3 2 1  1 I 2 II 3 III
Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 137 ° S: 79 % B: 46 % R: 25 G: 118 B: 51 # 107033 L: 43 a: -39 b: 29 C: 87 % M: 29 % Y: 100 % K: 18 %	4 3 2 1  1 I 2 II 3 III
Отмена Добавить в образцы Библиотеки цветов текущий H: 48 ° S: 33 % B: 93 % R: 236 G: 221 B: 159 # 8c0e2f L: 88 a: -1 b: 32 C: 8 % M: 9 % Y: 44 % K: 0 %	9 

дельные переплетения, соответствующие каждому цвету развёрнутого патрона.

В условиях производства был проведён эксперимент по определению возможности создания разнофактурных объёмных эффектов в структуре одной ткани. Для этого изготовлены опытные образцы, представленные на рисунках 7 и 8 с использованием в утке котонинсодержащей пряжи линейной плотности 110 (рисунок 7) и 50 текс (рисунок 8). При использовании в многофактурных тканях котонинсодержащей пряжи, обладающей высокой усадкой в процессе мокрой обработки, выразительность и объёмность рисунка увеличиваются, благодаря уплотнению ткани по утку, что придаёт ей большую выразительность. В основе использована крашеная льняная пряжа мокрого способа прядения линейной плотности 56 текс чёрного и белого цветов в соотношении 1:1. Опытные образцы подверглись стирке в свободном состоянии.

Из рисунка видно, что внешний вид ткани представляет собой многофактурную многоцветную поверхность без чёткого ограничения контуров цветовых эффектов, которая, благодаря использованию 6-ти цветов нитей,

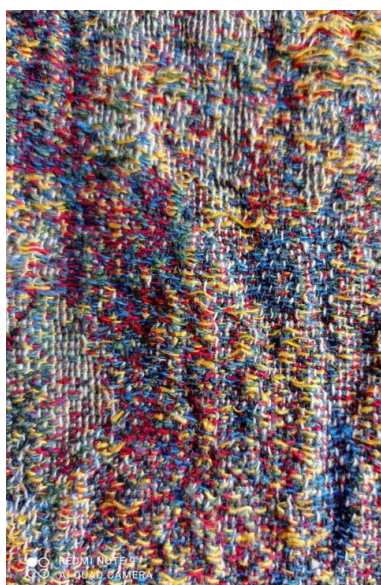


Рисунок 7 – Внешний вид фрагмента рисунка ткани с различными фактурами поверхности
Figure 7 – The view of a fragment of a fabric pattern with different surface textures



Рисунок 8 – Внешний вид образца разработанной разнотканной многофактурной ткани
Figure 8 – The view of the sample of the developed multi-layered fabric

напоминает гобелен ручной работы, выполненный из пряжи малой линейной плотности. Внешний вид ткани соответствует костюмному и декоративному назначению. Так как структура каждого ткацкого фрагмента в отдельности имеет разное количество слоёв, нити основы в которых, соответственно, имеют разную уработку, то в таких тканях высока вероятность частых остановов ткацкого станка из-за разницы в суммарной уработке отдельных нитей, сматываемых с одного ткацкого ноуа. Необходимо отметить, что при выработке тканей на ткацком станке не наблюдалось провисания нитей

основы, что свидетельствует о грамотном распределении цветовых и ткацких эффектов на площади рисунка.

Анализ полученных результатов

С целью определения изменения параметрических характеристик готовых тканей в зависимости от вида и слойности используемых переплетений, произведён анализ результатов исследований опытных образцов тканей, наработанных переплетениями 1–9. Средние значения по каждому образцу представлены в таблице 2.

Средние значения плотности суровой ткани по утку для всех опытных образцов составляет 260 нитей на 10 см, по основе – 169 нитей на 10 см. Так как все опытные образцы подверглись заключительной отделке в виде стирки в свободном состоянии, то изменение плотности готового образца ткани того или иного переплетения характеризует влияние этого переплетения на внутреннюю структуру, а именно, на характер перемещения нитей в слоях. Чем больше плотность ткани по основе и (или) по утку, тем больше толщина в многослойных тканях из-за стремления нитей расположиться в слоях друг под другом. При этом измерение толщины стандартными для текстильных материалов методами в данном случае не будет результативно из-за возможности смещения нитей при сжатии, поэтому реальное значение толщи-

ны необходимо измерять с помощью срезов образцов тканей, зафиксированных так же в свободном состоянии. Анализ же изменения плотности ткани и плотности в слоях и полуслоях позволяет спрогнозировать возможность утолщения или утонения ткани на участке, выработанном тем или иным переплетением. В данном исследовании под полуслоями понимаем нити основы и (или) утка, расположенные в одном из слоёв друг под другом, под их плотностью понимается плотность верхнего полуслоя.

Плотность ткани как по основе, так и по утку образцов 3, 4, 6 практически одинаковая, образцы имеют однослойное строение, образец 6 выработан просвечивающимся переплетением, поэтому фактура ткани после отделки приобретает эффект равномерно расположенных просветов. Переплетения 3 и 4, хоть и представляют собой трёхслойную структуру, но нити в полуслоях располагаются с небольшим смещением друг относительно друга и образуют плотную равномерную фактуру поверхности. Средняя уработка нитей основы образцов № 3 и № 4 составляет 7,2 %; № 2 и № 5 – 4 %. Образец 1 имеет повышенную плотность по основе и по утку, что свидетельствует об утолщении ткани, слои располагаются друг под другом, при этом в нижнем слое их плотность так же не велика, что будет придавать тка-

Таблица 2 – Результаты исследования опытных образцов готовых тканей

Table 2 – Results of the study of experimental samples of finished fabrics

№ перепетения	Плотность ткани, нитей/10 см		Ширина ткани, см	Плотность ткани по основе в слоях, нитей/10 см	Плотность ткани по утку в слоях, нитей/10 см	Плотность в полуслоях	
	По основе	По утку				По основе	По утку
1	190	280	138	31 – верхний, 156 – нижний	140 – верхний, 140 – нижний	31	34
2	178	260	148	79 – верхний, 79 – нижний	130 – верхний, 130 – нижний	-	
3	178	261	149	178	261 (один слой)		
4	177	260	150	177	260 (один слой)		
5	179	259	148	90 – верхний, 90 – нижний	129 – верхний, 130 – нижний		
6	178	259	149	178	259 (один слой)		
7	200	276	130	50 – верхний, 151 – нижний	69 – верхний, 207 – нижний	49	35
8	202	278	128	202	278 (один слой)	50	70

ни эффект сложенной в несколько слоёв марли. Таким образом, структура ткани утолщается и разрежается, так же, как и структура образца 7. Но при этом верхний слой образца 7 выглядит более разреженным, чем образец 1. Образец 8 имеет однослойное строение, но этот один слой состоит из 4-х полуслоёв, расположенных друг под другом. Фактура поверхности, как с лицевой, так и с изнаночной стороны, будет выглядеть одинаково разреженной. Уработка нитей основы образцов 1, 7, 8 находится в пределах 2–3 %, что существенно меньше уработки нитей основы предыдущих образцов. Ширина ткани, соответственно, уменьшается с увеличением плотности по основе, поэтому, при разработке рисунков с использованием разнослойных переплетений, необходимо учитывать не только суммарную уработку нитей основы, но и возможное изменение ширины ткани при не рациональном расположении ткацких эффектов на площади раппорта.

При изготовлении ткани данного вида на ткацком станке большое значение имеет её технологичность, выраженная в равномерности уработки нитей основы по ширине ткани, что зависит от согласованности уработки нитей основы каждого из разнослойных переплетений с размером и расположением соответствующего цветового эффекта на площади раппорта рисунка. Рисунок должен разрабатываться с учётом уравновешенности ткацких эффектов. Кроме этого, на ткацком станке желательно использовать два ткацких навоя (нижний – с нитями чёрного цвета, верхний – с нитями белого цвета) в заправке ткацкого станка с электронным управлением и многоуточным механизмом.

Данный способ позволяет создать многофактурность поверхности фрагментов жаккардовых и ремизных тканей, сочетать в одной ткани одно-, двух-, трёх-, много-слойные участки, создавать объёмные эффекты. Фактурный эффект может быть усилен при использовании разноусадочных пряж в различных системах основы и утка.

Выводы

Путем анализа существующих переплетений различной слойности определены наиболее подходящие их сочетания для использования в одной ткани, для получения различных визуальных и функциональных эффектов, установлена возможность наработки данных тканей на имеющемся на предприятии оборудовании.

Разработаны новые структуры и спроектированы сложные переплетения нового вида, которые распределяют нити внутри ткани на разных расстояниях друг от друга для получения различной плотности нитей в слоях одной и той же ткани.

Анализ фактурных эффектов поверхности разработанных льносодержащих тканей показал, что при использовании в одной структуре ткани в качестве ткацких эффектов рисунка предложенных разнослойных переплетений, становится возможным получить объёмные эффекты поверхности даже при применении во всех слоях уточной пряжи, одинаковой по своей способности к усадке.

Разработан жаккардовый рисунок, соответствующий направлениям модных трендов с проработкой цветовых и ткацких эффектов, позволяющий получить равномерную структуру ткани, которая по внешнему виду может быть как декоративной, так и одежной.

Благодаря применению специальной техники обработки технического абстрактного рисунка, выполненного в стиле «гранж», использованию разнослойных переплетений нового вида, поверхность ткани характеризуется выразительными выпуклыми, объёмными, гладкими фрагментами различной слойности. Цветовые эффекты располагаются на площади раппорта рисунка с учётом выравнивания уработки нитей основы, что необходимо с целью предотвращения остановов ткацкого станка из-за провисания нитей, имеющих меньшую уработку.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Акбаров, Р.Д., Хамраева, С.А. и Танибердиев, Ф.Р. [2022]. Изменение основных свойств костюмных тканей в зависимости от усадки. *Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2022): Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 23–24 ноября 2022 года, С. 106–108.

Валиев, Ф.А. и Нуриев, М.Н. [2019]. Расчёт уработки в тканях с переменной плотностью по утку. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, № 3, С. 96–99.

Горбачева, А.М., Коган, А.Г. и Акиндинова, Н.С. (2019). Использование комбинированных нитей для создания тканей с объемным эффектом на поверхности. *Материалы докладов 52-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, 24 апреля 2019 года, Том 2, С. 282–284.

Гречухин, А.П., Хабибуллоев, А., Рудовский, П.Н. и Рудковский, М.Д. (2021). Методика расчёта поверхностной плотности трёхмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системой нитей в зоне формирования. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, № 4, С. 113–120.

Деркаченко, П.Г., Милеева, Е.С., Антонова, Т.А. и Захарченко, В.Ф. (2022). Разработка программного продукта для оценки возможности выравнивания уработки нитей основы. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, Том 57, вып. 3, С. 76–81.

Казарновская, Г.В. (2017). Проектирование рисунков переплетений для ремизных и жаккардовых тканей смешанных структур. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2[33], С. 21–28.

Казарновская, Г.В. и Милеева, Е.С. (2022). Исследование влияния параметров строения тканей на уработку нитей основы и утка для проектирования крупноузорчатых переплетений. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, Том 57, вып. 3, С. 63–67.

Казарновская, Г.В. и Милеева, Е.С. (2022). Технология изготовления костюмных тканей комбинированных переплетений на ткацких станках с жаккардовой машиной. *Материалы и технологии*, № 2[10], С. 75–81.

Керимов, С.Г. и Постников, А.В. (2017). Расчёт параметров строения ткани из однородных по сырьевому составу нитей основы и утка с применением результатов механического моделирования. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, № 4, С. 128–131.

Кумпикайте, Э.А. и Рагайшене, А.А. (2013). Проектирование тканей с фасонными нитями и исследование их потребительских свойств. *Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности: Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 27–28 ноября 2013 года, С. 53–55.

Малецкая, С.В. и Малецкий, В.В. (2015). Использование вспомогательных переплетений для автоматизированного построения переплетений двухслойных тканей с переходом нитей из слоя в слой. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 6, С. 64–69.

Малецкая, С.В. и Мелюшкин, К.В. (2007). Использование трехмерного массива при автоматизированном построении переплетения двухслойной ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 4, С. 98–100.

Орлова, Ю.А. (2018). Разработка ассортимента костюмной ткани на основе дизайна переплетений: актуальность для современного потребителя. *Всероссийская научно-практическая конференция "ДИСК-2018": Сборник материалов*, Часть 1, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» Москва, 20–21 ноября 2018 года, С. 194–196.

Севастьянов, П.А., Самойлов, Т.А. и Монахов, В.В. (2019). Моделирование удлинения основной нити в ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология лёгкой промышленности*, № 2, С. 199–202.

Толубеева, Г.И. (2012). Методика построения профилей нитей основы и утка однослойной ремизной ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 6, С. 69–73.

Толубеева, Г.И. (2012). Методика расчета уработок нитей в горизонтальной плоскости однослойной ткани по ее заправочным данным и высоте волны изгиба основы. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5, С. 64–69.

Толубеева, Г.И. (2012). Методика расчета уработок нитей во фронтальной плоскости однослойной ткани по ее заправочным данным и высоте волны изгиба основы. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 3, С. 48–53.

Толубеева, Г.И. (2012). Пример расчета уработок нитей основы и утка и построение их профилей в ткани полотняного переплетения. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2, С. 53–58.

Толубеева, Г.И., Якубова, И.Г. и Пяртли, С.Г. (2012). Методика расчета уработок нитей полотна по заправочным данным ткани и высоте волны изгиба основы. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*

ленности, № 1, С. 54–58.

Толубеева, Г.И. и Коробов, Н.А. (2013). Методика построения объемной модели однослойной ремизной ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 1, С. 61–66.

Труевцева, О.А., Браславский, В.А. и Веселова С.А. (2011). Товароведная характеристика 3-х компонентных льносодержащих тканей. *Швейная промышленность*, № 1, С. 42–44.

Умерова, Г.А. (2015). Влияние технологического прогресса на увеличение ассортимента текстильных материалов для одежды. *Инженерно-педагогический вестник: легкая промышленность*, № 2(5), С. 51–58.

Хамраева, С.Б. и Кадилова, Д.Н. (2024). Разработка переменной структуры ткани с функциональными свойствами. *Актуальные направления развития текстильной и легкой промышленности в современных условиях: Сборник научных трудов Первой Всероссийской научной конференции с международным участием*, Москва, 28 мая 2024 года, С. 24–30.

Яминзод, З.А. (2021). *Развития теории строения ассортиментов ткани. Наука и образование в эпоху цифровизации*: монография. Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), С. 125–166.

Kondrashov, S.V. (2022). Mechanical metamaterials – a fashion trend or a new approach to the development of materials. *Journal of Advanced Materials and Technologies*, Vol. 7, No. 4, pp. 310–318.

Saini, N., Yadav, S. and Rose, M.N. (2018). Fabric Designing for Product Development by Combination of Weaves through CAD. *Journal of Textile Science & Engineering*, Issue 8, p. 343.

REFERENCES

Akbarov, R.D., Khamraeva, S.A. and Taniberdiev, F.R. (2022). Changes in the basic properties of costume fabrics depending on shrinkage [Изменение основных свойств костюмных тканей в зависимости от усадки]. *Innovacii v tekstile, odezhde, obuvi (ICTAI-2022): Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii = Innovations in Textiles, Clothing, Footwear (ICTAI-2022): Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*, Vitebsk, November 23–24, 2022, pp. 106–108 [In Russian].

Valiev, F.A. and Nuriev, M.N. (2019). Calculation of processing in fabrics with variable density according to weft [Расчет уработки в тканях с переменной плотностью по утку. Известия высших учебных заведений]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Light industry technology*, No. 3, pp. 96–99 [In Russian].

Gorbacheva, A.M., Kogan, A.G. and Akindinova, N.S. (2019). The use of combined yarns to create fabrics with a volumetric effect on the surface [Изменение основных свойств костюмных тканей в зависимости от усадки]. *Materialy dokladov 52-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii prepodavatelej i studentov = Proceedings of the 52nd International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students*, Vitebsk, April 24, 2019, Volume 2, pp. 282–284 [In Russian].

Grechukhin, A.P., Khabibulloev, A., Rudovsky, P.N. and Rudkovsky, M.D. (2021). Methodology for calculating the surface density of three-dimensional orthogonal fabrics with ligation by a single thread system in the formation zone [Методика расчета поверхностной плотности трехмерных ортогональных тканей с перевязкой одной системы нитей в зоне формирования]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Light industry technology*, No. 4, pp. 113–120 [In Russian].

Derkachenko, P.G., Mileeva, E.S., Antonova, T.A. and Zakharchenko, V.F. (2022). Software product development for evaluating the possibility of leveling the warp threads [Разработка программного продукта для оценки возможности выравнивания уработки нитей основы]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Light industry technology*, Volume 57, issue 3, pp. 76–81 [In Russian].

Kazarnovskaya, G.V. (2017). Designing weave patterns for remize and jacquard fabrics of mixed structures [Проектирование рисунков переплетений для ремизных и жаккардовых тканей смешанных структур]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo*

tekhnologicheskogo universiteta = *Vestnik of Vitebsk State Technological University*, No. 2(33), pp. 21–28 [In Russian].

Kazarnovskaya, G.V. and Mileeva, E.S. (2022). Investigation of the influence of the parameters of the fabric structure on the processing of warp and weft threads for the design of coarse-knotted weaves [Issledovanie vliyaniya parametrov stroeniya tkanej na urabotku nitej osnovy i utka dlya proektirovaniya krupnouzorchatyykh perepletenij]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti* = *News of higher educational institutions. Light industry technology*, Volume 57, issue 3, pp. 63–67 [In Russian].

Kazarnovskaya, G.V. and Mileeva, E.S. (2022). Technology of manufacturing costume fabrics of combined weaves on looms with a jacquard machine [Tekhnologiya izgotovleniya kostyumnykh tkanej kombinirovannykh perepletenij na tkachikh stankakh s zhakkardovoy mashinoj]. *Materialy i tekhnologii* = *Materials and technologies*, No. 2(10), pp. 75–81 [In Russian].

Kerimov, S.G. and Postnikov, A.V. (2017). Calculation of the parameters of the fabric structure from warp and weft yarns homogeneous in raw material composition using the results of mechanical modeling [Raschyot parametrov stroeniya tkani iz odnorodnykh po syr'evomu sostavu nitej osnovy i utka s primeneniem rezul'tatov mekhanicheskogo modelirovaniya]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti* = *News of higher educational institutions. Light industry technology*, No. 4, pp. 128–131 [In Russian].

Kumpikaite, E.A. and Ragaishene, A.A. (2013). Designing fabrics with shaped threads and researching their consumer properties [Proektirovanie tkanej s fasonnymi nityami i issledovanie ikh potrebitel'skikh svoystv]. *Novoe v tekhnike i tekhnologii tekstil'noj i legkoj promyshlennosti: Materialy dokladov mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii* = *New in the technology and engineering of textile and light industry: Proceedings of the reports of the international scientific and technical conference*, Vitebsk, November 27–28, 2013, pp. 53–55 [In Russian].

Maletskaya, S.V. and Maletsky, V.V. (2015). The use of auxiliary weaves for the automated construction of interlacing of two-layer fabrics with the transition of threads from layer to layer [Ispol'zovanie vspomogatel'nykh perepletenij dlya avtomatizirovannogo postroeniya perepletenij dvukhslojnykh tkanej s perekhodom nitej iz sloya v sloj]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 6, pp. 64–69 [In Russian].

Maletskaya, S.V. and Melyushkin, K.V. (2007). Using a three-dimensional array in automated construction of a two-layer fabric weave [Ispol'zovanie trekhmernogo massiva pri avtomatizirovannom postroenii perepleteniya dvukhslojnoj tkani]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 4, pp. 98–100 [In Russian].

Orlova, Yu.A. (2018). Development of a range of costume fabrics based on the design of weaves: relevance for the modern consumer [Razrabotka assortimenta kostyumnoj tkani na osnove dizajna perepletenij: aktual'nost' dlya sovremennogo potrebitelya]. *Vserossiyskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya "DISK-2018" : Sbornik materialov*, Part 1, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art)" Moscow, November 20–21, 2018, pp. 194–196 [In Russian].

Sevastyanov, P.A., Samoilov, T.A. and Monakhov, V.V. (2019). Modeling the elongation of the main thread in the fabric [Modelirovanie udlineniya osnovnoj niti v tkani]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya lyogkoj promyshlennosti* = *News of higher educational institutions. Light industry technology*, No. 2, pp. 199–202 [In Russian].

Tolubeeva, G.I. (2012). Methodology for constructing warp and weft thread profiles of single-layer heald fabric [Metodika postroeniya profilej nitej osnovy i utka odnoslojnoj remiznoj tkani]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 6, pp. 69–73 [In Russian].

Tolubeeva, G.I. (2012). Methodology for calculating the thread wear in the horizontal plane of a single-layer fabric based on its filling data and the height of the warp bending wave [Metodika rascheta urabotok nitej v gorizonta'lnoj ploskosti odnoslojnoj tkani po ee zapravochnym dannym i vysote volny izgiba osnovy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 5, pp. 64–69 [In Russian].

Tolubeeva, G.I. (2012). Methodology for calculating the thread wear in the frontal plane of a single-layer fabric based on its filling data and the height of the warp bending wave [Metodika rascheta urabotok nitej vo fronta'lnoj ploskosti odnoslojnoj tkani po ee zapravochnym dannym i vysote volny izgiba osnovy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 3, pp. 48–53 [In Russian].

Tolubeeva, G.I. (2012). Example of calculating the warp and weft threads and constructing their profiles in plain weave fabric [Primer rascheta urabotok nitej osnovy i utka i postroenie ikh profilej v tkani polotnyanogo perepleteniya]. *Izvestiya*

vysshikh uchebnykh zavedenij. *Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 2, pp. 53–58 [In Russian].

Tolubeeva, G.I., Yakubova, I.G. and Pyartli, S.G. (2012). Methodology for calculating the thread wear of a fabric based on the filling data of the fabric and the height of the warp wave [Metodika rascheta urabotok nitej polotna po zapravochnym dannym tkani i vysote volny izgiba osnovy]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 1, pp. 54–58 [In Russian].

Tolubeeva, G.I. and Korobov, N.A. (2013). Methodology for constructing a three-dimensional model of a single-layer heal fabric [Metodika postroeniya ob'yomnoj modeli odnoslojnoj remiznoj tkani]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti*, No. 1, pp. 61–66 [In Russian].

Truevtseva, O.A., Braslavsky, V.A. and Veselova S.A. (2011). Commodity characteristics of 3-component flax-containing fabrics [Tovarovednaya kharakteristika 3-kh komponentnykh l'nosoderzhashchikh tkanej]. *Shvejnaya promyshlennost' = Garment industry*, No 1, 42–44 [In Russian].

Umerova, G.A. (2015). The impact of technological progress on increasing the range of textile materials for clothing [Vliyanie tekhnologicheskogo progressa na uvelichenie assortimenta tekstil'nykh materialov dlya odezhdy]. *Inzhenerno-pedagogicheskij vestnik: legkaya promyshlennost' = Engineering and Pedagogical Bulletin: Light Industry*, No. 2(5), pp. 51–58 [In Russian].

Khamraeva, S.B. and Kadirova, D.N. (2024). Development of a variable tissue structure with functional properties [Izmenenie osnovnykh svoystv kostyumnykh tkanej v zavisimosti ot usadki]. *Aktual'nye napravleniya razvitiya tekstil'noj i legkoj promyshlennosti v sovremennykh usloviyakh: Sbornik nauchnykh trudov Pervoy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem = Current development trends in the textile and light industry in modern conditions: Collection of scientific papers of the First All-Russian scientific conference with international participation*, Moscow, May 28, 2024, pp. 24–30 [In Russian].

Yaminzoda, Z.A. (2021). Development of the theory of the structure of fabric ranges. Science and education in the era of digitalization [Razvitiya teorii stroeniya assortimentov tkani]. *Nauka i obrazovanie v epohu cifrovizacii: monografiya = Science and Education in the Age of Digitalization: Monograph*. Petrozavodsk: International Center for Scientific Partnership "New Science" (IP Ivanovskaya Irina Igorevna), pp. 125–166 [In Russian].

Kondrashov, S.V. (2022). Mechanical metamaterials – a fashion trend or a new approach to the development of materials. *Journal of Advanced Materials and Technologies*, Vol. 7, No. 4, pp. 310–318.

Saini, N., Yadav, S. and Rose, M.N. (2018). Fabric Designing for Product Development by Combination of Weaves through CAD. *Journal of Textile Science & Engineering*, Issue 8, p. 343.

Информация об авторах

Information about the authors

Акиндинова Наталья Станиславовна

Кандидат технических наук, декан факультета дизайна, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: akindinovanatasha@mail.ru

Natallia S. Akindzinava

Candidate of Sciences (in Engineering), Dean of the Faculty of Design, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: akindinovanatasha@mail.ru

Влияние предварительного натяжения на значение индекса передачи теплового излучения огнезащитного трикотажного полотна

А. Н. Петухов

Учреждение «Центр «СКС» (некоммерческая организация), Российская Федерация

Аннотация. Для производства специальной защитной одежды и средств индивидуальной защиты от повышенных температур применяются различные текстильные материалы – ткани и трикотажные полотна. Указанные материалы различаются своим сырьевым составом, поверхностной плотностью, структурой, видом заключительной отделки. Для обеспечения защиты от повышенных температур используется оценка таких показателей качества и безопасности: эксплуатационные – разрывная и раздирающая нагрузка, истирание по плоскости и метод Мартиндейла, стойкость к порезу, стойкость к проколу; технологические – изменение линейных размеров после мокрой обработки или химчистки, жесткость, разрывная нагрузка шва; гигиенические – воздухопроницаемость, напряженность электростатического поля на поверхности изделия, предельно допустимая концентрация химически-опасных веществ; защитные (специальные) – стойкость к прожиганию, стойкость к открытому пламени (действующему в торец образца, воспламенение поверхности и воспламенение нижней кромки), контакт с поверхностями, нагретыми до 250 °С, индекс передачи теплового излучения, показатель передачи конвективного тепла. В данной статье рассматривается влияние величины груза предварительного натяжения на значение индекса передачи теплового излучения $RHTI$ (Q_o), плотности пропущенного теплового потока Q_e и размера испытуемого образца после воздействия теплового потока плотностью 20 кВт/м² для огнестойких трикотажных полотен – трёх сырьевых составов: модакрил 65 % и шерсть 35 % различной поверхностной плотности и трёх трикотажных полотен с поверхностной плотностью около 210,0 г/м² различного сырьевого состава. Целью настоящего научного исследования является выбор и обоснование оптимальной величины груза предварительного натяжения при проведении испытаний трикотажных полотен специального назначения в условиях воздействия теплового излучения по ГОСТ ISO 6942-2011 при стандартной плотности падающего потока 20 кВт/м². В статье даются рекомендации по применению оптимальной величины груза предварительного натяжения для обеспечения получения достоверных результатов испытаний по ГОСТ ISO 6942-2011.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, специальная одежда, трикотажные полотна, теплопередача, тепловое излучение, метод испытаний.

Информация о статье: поступила 05 сентября 2024 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)», которая состоялась 20–21 ноября 2024 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Pre-tension load of resistant knitted fabric influence on radiant heat transfer index

Aleksandr N. Petukhov

Institution "SQS Center" (non-profit organization), Russian Federation

Abstract. Various textile materials – woven fabrics and knitted fabrics – are used to produce special protective clothing and personal protective equipment against high temperatures. These materials differ in their raw material composition, surface density, structure, and finishing treatments. To ensure protection against high temperatures, the following quality and safety indicators are assessed: operational – tearing and tensile load, plane abrasion and the Martindale abrasion method, cut resistance, puncture resistance; technological – changes in linear dimensions after wet processing or dry cleaning, rigidity, seam breaking load; hygienic – air permeability, electrostatic field strength on the surface of the product, maximum permissible concentration of chemically hazardous substances; protective (special) – resistance to burning, open flame resistance (acting in specimen end, surface ignition and lower edge ignition), contact with surfaces heated to 250 °C, radiant heat transfer index (RHTI), convective heat transfer index. This article examines the effect of the pre-tension load

value on the RHTI (Q_0), transmitted heat flux density Q_c and the size of the test specimen after exposure to a heat flux with a density of 20 kW/m² for flame-resistant knitted fabrics, including three raw material compositions: modacrylic 65 % and wool 35 % with varying surface densities, and three knitted fabrics (~210.0 g/m²) with different raw material compositions. The purpose of this scientific research is to select and validate the optimal value of the pre-tension load for testing special-purpose knitted fabrics under conditions of exposure to thermal radiation according to GOST ISO 6942-2011 at a standard incident flux density of 20 kW/m². The article provides recommendations on the use of the optimal pre-tension load value to ensure reliable test results under GOST ISO 6942-2011.

Keywords: personal protective equipment, special clothing, knitted fabrics, heat transfer, thermal radiation, test method.

Article info: received September 05, 2024.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2024), held on November 20–21, 2024 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Материалом для пошива специальной одежды для защиты от повышенных температур могут служить ткани и трикотажные полотна различного сырьевого состава с огнезащитной отделкой или произведённые из арамидных нитей, изначально обладающих термо- и огнестойкими защитными свойствами. Средства индивидуальной защиты рук для защиты от повышенных температур изготавливаются, как правило, из таких же материалов.

Трикотажные полотна в отличие от тканых имеют растяжимость. В статье (Хабарова, Е. Б., Фомина, О. П. и Заваруев, В. А., 2021) рассматриваются изменения в физико-механических свойствах полотна под действием деформационных нагрузок – приложение силы, при которой петельные столбики трикотажа раздвигаются. Исследование проводилось для семи различных кулирных переплетений – гладь, ластик 1х1, фанг и полуфанг, а также комбинированных переплетений с протяжками типа распорок – при различном давлении от 0 до 1000 Па стандартными методиками. В исследовании отмечается, что ластик 1х1 имеет наибольшее относительное удлинение из-за своей петельной структуры, а комбинированное переплетение с протяжками в виде соединительных распорок позволяет добиться повышенного сопротивления деформации. Так же отмечается, что толщина трикотажных полотен оказывает влияние на такие свойства как теплоизоляция, проницаемость, жесткость, драпируемость и другие.

В работах (Хамидова, Д. У., Тураходжаева, Н. Н. и Ханхаджаева, Н. Р., 2021; Холбоев, Э. Б., Хамидова, Д. У. и Ханхаджаева, Н. Р., 2022) проводилось исследование различных вариантов трикотажных переплетений слож-

ной структуры. В исследовании (Холбоев, Э. Б., 2023) было установлено, как различное количество прессо-вых петель влияет на разрывную нагрузку трикотажного полотна. Также наблюдались изменения в воздухопроницаемости, удлинении и растяжимости. В ходе работы (Холбоев, Э. Б. и Ханхаджаева, Н. Р., 2023) была разработана математическая модель влияния различного количества рисунчатых элементов петель в составе полотна на разрывную нагрузку и упругую деформацию. На основе полученной модели сделан вывод о возможности прогнозирования разрывной нагрузки и упругой деформации для достижения требуемых значений.

Для оценки качества готового трикотажного изделия, в статье (Гойс, Т. О. и др., 2024) наряду с использованием стандартной системы оценки, предлагается использование комплексного показателя качества на основе трех обобщенных оценок: показатели внешнего вида изделия (соответствие росту, выбранным материалам, моде и стилю; оригинальность; колористическое оформление; посадка изделия на фигуре); единичные показатели качества (изменение линейных размеров после мокрых обработок; устойчивость окраски к свету, к дистиллированной воде и к сухому трению; удельное поверхностное электрическое сопротивление; воздухопроницаемость; гигроскопичность; устойчивость к истиранию) и дефекты внешнего вида и производственно-швейные дефекты готового изделия для установления уровня сорта (проявление загрязненной нити; пятна; несимметричность деталей; отклонение строчки от конструктивной линии при подшивке верха и низа изделия; разная длина боковых швов). Таким образом, потребитель на основе итоговой оценки качества может судить о качестве продукта.

Для оценки огнезащитных свойств специальных текстильных материалов в исследовании (Спиридонова, В. Г. и Циркина, О. Г., 2021) выделяются различные методики выполнения испытаний со следующими определяемыми параметрами – воздействие теплового излучения [ГОСТ Р ИСО 6942-2007, с 01.10.2022 действует ГОСТ ISO 6942-2011]; теплопередача [ГОСТ Р ИСО 9151-2007, с 01.10.2022 действует ГОСТ ISO 9151-2021]; распространение пламени на вертикально ориентированных материалах [ГОСТ ISO 15025-2019]; огнестойкость [ГОСТ 11209-2014]; устойчивость к мокрой обработке [ГОСТ 124.049-78]; распространение пламени на вертикально ориентированных образцах в строго контролируемых условиях [ГОСТ Р ИСО 6941-99]. В исследовании отмечается, что рассмотренные методики не учитывают наличие огнезащитной обработки на материалах и не могут быть сравнимы между собой.

В исследовании (Спиридонова, В. Г. и Циркина, О. Г., 2023) применяется термический анализ для исследования термических свойств тканей. Отмечается, что существенное влияние на термические свойства оказывают поверхностная плотность и толщина. В статье сделан вывод, что температурные показатели обуславливающие термические процессы в текстильном материале зависят от поверхностной плотности так же как и химический состав материала – текстильные материалы, выработанные из одинаковых по природе волокон и отличающиеся только поверхностной плотностью, имеют близкие термические показатели.

Помимо физико-механических показателей качества средств индивидуальной защиты рук, в исследованиях (Строганова, Ю. А. и Давыдов, А. Ф., 2023) выделяются такие показатели безопасности как стойкость к прожиганию, огнестойкость, контакт с нагретыми поверхностями до 250 °С, индекс передачи теплового излучения, показатель передачи тепла при воздействии пламени. В работе сделаны выводы о том, что выбор материалов для производства средств индивидуальной защиты рук должен исходить из условий применения и рисков возможного нанесения вреда.

В статье (Шустов, Ю. С., и др., 2021) рассматриваются основные методики выполнения испытаний для определения ограниченного распространения открытого пламени – в торец образца в соответствии с ГОСТ 11209-2014, воспламенение поверхности в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15025-2007 процедура А (с 01.09.2019 действует ГОСТ ISO 15025-2019), воспламенение нижней

кромки в соответствии с ГОСТ Р ИСО 15025-2007 процедура В (с 01.09.2019 действует ГОСТ ISO 15025-2019), определение теплопередачи при воздействии пламени в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9151-2007 (с 01.10.2022 действует ГОСТ ISO 9151-2021). В статье сделаны рекомендации о применении процедуры В ГОСТ Р ИСО 15025-2007 (ГОСТ ISO 15025-2019) при воздействии пламени в течение 10 и 30 секунд как наиболее показательной.

Для огнезащитных трикотажных полотен в статье (Шамиданова, А. Б., Заваруев, В. А. и Рябова, И. И., 2019) помимо физико-механических и гигиенических требований выдвигаются специальные требования:

- материал должен исключать искрообразование;
- индекс передачи теплового излучения при плотности теплового потока 20 кВт/м² должен быть не менее 8 секунд;
- при воздействии открытого пламени в течение 30 секунд, материалы не должны поддерживать горения и тления, а также расплавляться при выносе из пламени, при этом остаточное горение и тление не допускаются;
- материалы должны быть устойчивы к прожигающему элементу, нагретому до 800 °С в течение 50 секунд;
- после 5-ти химических стирок огнезащитные свойства материалов должны сохраняться;
- искры и брызги расплавленного металла не должны удерживаться на поверхности материала.

Предлагается использование двухслойного трикотажного полотна (верхний слой – специальных, нижний слой – гигиенических для обеспечения выполнения данных требований). В исследовании (Шамиданова, А. Б. и Рябова, И. И. 2018) отмечается, что защитные свойства зависят не только от сырья, но и от структуры.

В статье (Петухов, А. Н. и Давыдов, А. Ф. 2021) рассматриваются основные параметры для проведения ГОСТ Р ИСО 6942-2007 (с 01.10.2022 действует ГОСТ ISO 6942-2011) для определения индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ при плотности теплового потока 20 кВт/м², которая нормируется Техническим регламентом 019/2011. При повышении плотности теплового потока (Петухов, А. Н. и др., 2022) значение $RHTI (Q_o)$ уменьшается, но прочностные характеристики у арамидных тканей остаются на том же уровне, а у хлопчатобумажных – уменьшаются.

Методы и средства исследований

Традиционно специальная защитная одежда изготавливается из тканых материалов. Применение трикотажных полотен позволяет улучшить воздухопрони-

цаемость готовой защитной специальной одежды, что отрицательно влияет на экранирование теплового потока, однако отсутствие соединительных швов в такой одежде позволяет избежать участков проникновения теплового излучения. Трикотажное полотно обладает значительным растяжением, что позволяет трикотажным изделиям более плотно облегать тело человека по сравнению с тканым полотном и минимизировать воздушное пространство между специальной защитной одеждой или средствами индивидуальной защиты рук и телом, что влияет на удержание теплового потока. Также к преимуществам трикотажных полотен можно отнести то, что при использовании нитей одинаковой линейной плотности трикотажные полотна будут иметь меньшую поверхностную плотность, чем тканые материалы, и для изготовления готового изделия будет использовано меньше нити, что положительно влияет на итоговый вес изделия.

Для проведенного исследования выбраны три трикотажных полотна схожего сырьевого состава и различной поверхностной плотности, а также три трикотажных полотна схожей поверхностной плотности, но различного сырьевого состава. Объекты исследования представлены в таблице 1.

Для исследования использовалась методика В выполнения испытаний по ГОСТ ISO 6942-2011. Сущность метода заключается в определении индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ (Radiant Heat Transfer

Index) – времени, за которое температура испытуемого образца поднимется на 24 °C от первоначальной при выдерживании под действием теплового потока заданной плотности. Норматив по Техническому регламенту 019/2011 составляет не менее 8 секунд при плотности теплового потока 20 кВт/м².

Целью настоящего научного исследования является выбор и обоснование оптимальной величины груза предварительного натяжения при проведении испытаний трикотажных полотен специального назначения в условиях воздействия теплового излучения по ГОСТ ISO 6942-2011 при стандартной плотности падающего потока 20 кВт/м².

Результаты исследований

На рисунке 1 представлен $RHTI (Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_e для шести образцов по петельным столбикам и рядом при плотности падающего теплового потока Q_o равной 20 кВт/м².

Из рисунка 1 видно, что направление раскроя испытуемого образца влияет на $RHTI (Q_o)$ и Q_e . Данное влияние объясняется тем, что трикотажные полотна могут растягиваться под действием груза предварительного натяжения (в соответствии с ГОСТ ISO 6942-2011 – 2 Н или 200 грамм). Груз предварительного натяжения в 200 грамм обеспечивает оптимальное натяжение испытуемого образца для тканых материалов, но является избыточным для трикотажных полотен, которые по своей структуре значительно растягиваются по петельным рядам.

Таблица 1 – Объекты исследования

Table 1 – Research objects

Образец:	1	2	3	4	5	6
Сырьевой состав	Модакрил – 65 % Шерсть – 35 %	Модакрил – 65 % Шерсть – 35 %	Модакрил – 65 % Шерсть – 33 % ТН* – 2 %	Модакрил – 60 % Шерсть – 39 % ТН – 2 %	Модакрил – 60 % Хлопок – 39 % ТН – 2 %	Мета-арамид – 100 %
Поверхностная плотность по ГОСТ 8845-87, г/м ²	380	365	250	210	210	210
Переплетение	Ластик 1x1					
Растяжимость по ГОСТ 8847-85, %	114	105	93	95	95	119

Примечание: *ТН – токопроводящая нить.

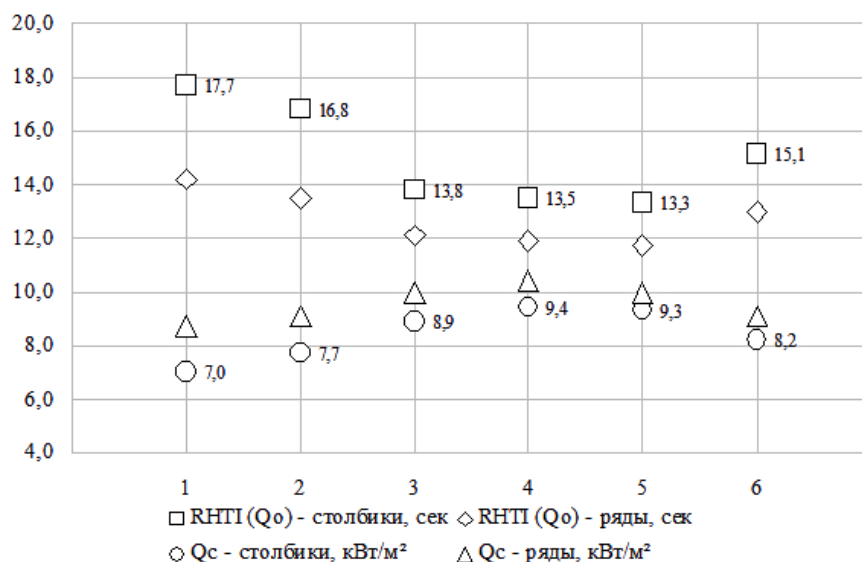


Рисунок 1 – Индекс передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_c при плотности падающего теплового потока Q_o равной 20 кВт/м²

Figure 1 – Radiant Heat Transfer Index $RHTI (Q_o)$ and transmitted heat flux density Q_c at incident heat flux density Q_o equal to 20 kW/m²

Наибольшее отличие $RHTI (Q_o)$ составляет 3,5 секунд (на 24,7 % больше у петельных столбиков, чем у рядов) и плотности пропущенного теплового потока Q_c на 1,7 кВт/м² (на 24,3 % меньше у петельных столбиков, чем у рядов) для образца 1, поверхностной плотностью 380,0 г/м².

С уменьшением поверхностной плотности испытанных образцов сохраняется зависимость индексом передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ и плотностью пропущенного теплового потока Q_c от направления раскроя – $RHTI (Q_o)$ на 13,7 % меньше у петельных столбиков, чем у рядов (разница в 1,6 секунды) и Q_c на 7,5 % меньше у петельных столбиков, чем у рядов (разница в 0,7 кВт/м²).

Следует отметить, что образцы 4 и 5, различающиеся сырьевым составом, но имеющие равные значения поверхностной плотности, имеют сравнимые значения $RHTI (Q_o)$ – 13,5 и 13,3 секунды для петельных столбиков, 11,9 и 11,7 секунд для рядов. У образца 6, имеющего сырьевой состав 100 % мета-арамид, больший $RHTI (Q_o)$, чем у образцов 4 и 5 схожих с ним по поверхностной плотности (петельные столбики 15,1 секунд, ряды 13,0 секунд).

На рисунках 2 и 3 представлены $RHTI (Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_c для шести образцов по петельным столбикам и рядам при плотности падающего теплового потока Q_o равной 20 кВт/м² и грузами предварительного натяжения 100 и 40 грамм, соответственно.

Анализ полученных результатов

При уменьшении груза предварительного натяжения с 200 грамм до 100 грамм и 40 грамм наблюдается увеличение индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ – для образца 1 на 0,5 (на 2,8 %) и 1,7 (на 9,6 %) секунды для петельных столбиков и для рядов – 1,3 (на 9,2 %) и 3,0 (на 21,1 %) секунды. При уменьшении поверхностной плотности для образцов 2–4 наблюдается аналогичное соотношение.

Для груза предварительного натяжения 100 грамм у образцов 4 и 5 различия $RHTI (Q_o)$ составляют 0,2 секунды (1,4 %) для петельных столбиков, для петельных рядов – без изменений. Для груза предварительного натяжения 40 грамм – 0,5 секунд (3,4 %) для петельных столбиков и петельных рядов.

Для образца 6 при уменьшении груза предварительного натяжения для петельных столбиков $RHTI (Q_o)$

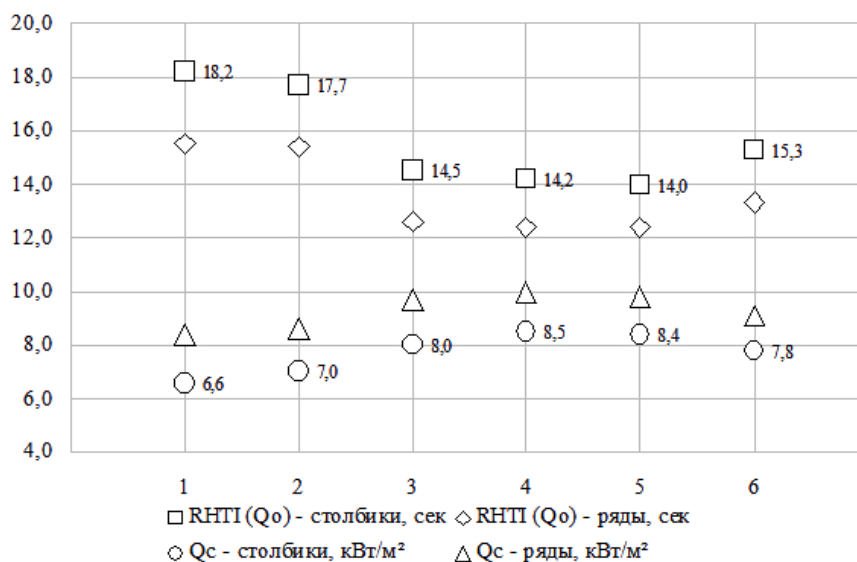


Рисунок 2 – Индекс передачи теплового излучения $RHTI(Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_c при плотности падающего теплового потока Q_o равной 20 кВт/м^2 для груза предварительного натяжения 100 грамм
Figure 2 – Radiant Heat Transfer Index $RHTI(Q_o)$ and transmitted heat flux density Q_c at incident heat flux density Q_o equal to 20 кВт/м^2 for a pre-tensioned load of 100 grams

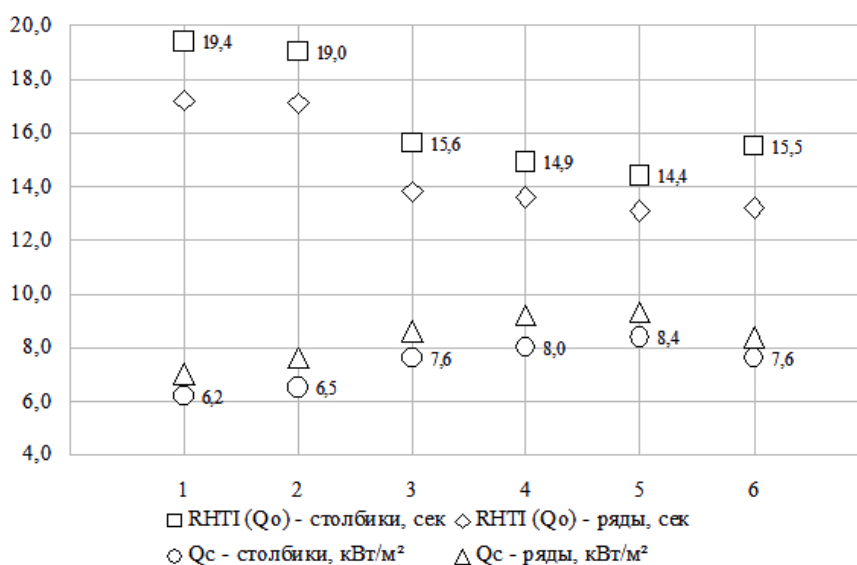


Рисунок 3 – Индекс передачи теплового излучения $RHTI(Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_c при плотности падающего теплового потока Q_o равной 20 кВт/м^2 для груза предварительного натяжения 40 грамм
Figure 3 – Radiant Heat Transfer Index $RHTI(Q_o)$ and transmitted heat flux density Q_c at incident heat flux density Q_o equal to 20 кВт/м^2 for a pre-tensioned load of 40 grams

увеличивается на 1,3 % (0,2 секунды) для 100 грамм и на 2,7 % (0,4 секунды) для 40 грамм. Для петельных рядов наблюдается увеличение $RHTI (Q_o)$ на 2,3 % (0,3 секунды) для 100 грамм и для 40 грамм – на 1,5 % (0,2 секунды).

Размер исходного испытуемого образца составляет (230x80) мм в соответствии с ГОСТ ISO 6942-2011. В таблице 2 представлены значения изменения длины образца после воздействия теплового потока плотностью 20 кВт/м².

Выводы

1. Сырьевой состав трикотажного полотна оказывает влияние на индекс передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$ и плотность пропущенного теплового потока Q_e : при сравнимых значениях поверхностной плотности трикотажное полотно, изготовленное из изначально термо- и огнестойких нитей, имеет больший $RHTI (Q_o)$ и меньший Q_e . Для увеличения $RHTI (Q_o)$ в трикотажных

полотнах с пропиткой необходимо увеличивать поверхностную плотность.

2. Уменьшение величины груза предварительного натяжения для обеспечения меньшего растяжения трикотажного полотна влияет на итоговое значение индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$: чем меньше натяжение, тем больше $RHTI (Q_o)$.

3. С уменьшением величины груза предварительного натяжения (вследствие меньшего растяжения трикотажного полотна) уменьшается значение плотности пропущенного теплового потока Q_e .

4. Необходимо предложить внести в ГОСТ ISO 6942-2011 изменения, связанные с уменьшением значения груза предварительного натяжения для трикотажных полотен для обеспечения реальных результатов определения величины индекса передачи теплового излучения $RHTI (Q_o)$. Целесообразно использование груза предва-

Таблица 2 – Влияние теплового потока на длину образца

Table 2 – Influence of heat flux on sample length

Размер образца после воздействия теплового потока 20 кВт/м ² , мм			
Испытуемые образцы, раскроенные вдоль петельных столбиков (исходная длина по петельным столбикам – 230 мм, ширина по рядам – 80 мм)			
	Груз предварительного натяжения		
Номер образца	200 грамм	100 грамм	40 грамм
1	240	230	230
2	240	230	230
3	240	230	230
4	235	230	230
5	235	235	230
6	235	235	235
Испытуемые образцы, раскроенные вдоль петельных рядов (исходная длина по петельным рядам – 230 мм, ширина по столбикам – 80 мм)			
	Груз предварительного натяжения		
Номер образца	200 грамм	100 грамм	40 грамм
1	285	265	240
2	280	265	255
3	270	265	240
4	275	265	255
5	270	265	250
6	235	235	235

рительного натяжения 100 грамм или менее, поскольку указанные грузы обеспечивают меньшее натяжение образца в процессе испытания, приближенное к реальным условиям эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Гойс, Т.О., Новосад, Т.Н., Мешелева, Т.Д. и Гусев, Б.Н. (2024). Совершенствование методики оценки качества трикотажных изделий. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2 (410), С. 95–99.
- Петухов, А.Н. и Давыдов, А.Ф. (2021). Определение теплозащитных свойств материала от воздействия теплового излучения. *Теория и практика экспертизы, технического регулирования и подтверждения соответствия продукции*, Москва, 31 мая 2021 года, С. 130–133.
- Петухов, А.Н., Давыдов, А.Ф., Демократова, Е.Б. и Чернышева, Г.М. (2022). Изменение индекса теплопередачи при воздействии теплового излучения различной интенсивности. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 1 (397), С. 115–119.
- Спиридонова, В.Г. и Циркина, О.Г. (2021). Анализ методов оценки огнезащитных свойств текстильных материалов. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 4 (394), С. 75–81.
- Спиридонова, В.Г. и Циркина, О.Г. (2023). Исследование пожароопасных свойств тканей из целлюлозных волокон методами термического анализа. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2 (404), С. 123–128.
- Строганова, Ю.А. и Давыдов, А.Ф. (2023). Выбор наиболее значимых показателей безопасности и качества и их оценки для средств индивидуальной защиты рук. *Дизайн и технологии*, № 95 (137), С. 79–87.
- Строганова, Ю.А. и Давыдов, А.Ф. (2023). Выбор определяющих показателей качества для средств индивидуальной защиты рук от повышенных температур. *Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения проф. А.П. Жихарева*, Москва, 19 октября 2022 года, С. 174–178.
- Хабарова, Е.Б., Фомина, О.П. и Заваруев, В.А. (2021). Исследование влияния деформационных нагрузок на физико-механические свойства трикотажных полотен. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 1 (391), С. 89–94.
- Хамидова, Д.У., Тураходжаева, Н.Н. и Ханхаджаева, Н.Р. (2021). К вопросу влияния структуры переплетений на прочность трикотажа. *Сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 150-летию со дня рождения профессора Н.А. Васильева*, Москва, 26 мая 2021 г., Ч. 2, С. 123–126.
- Холбоев, Э.Б., Хамидова, Д.У. и Ханхаджаева, Н.Р. (2022). Структуры сложных трикотажных переплетений. *Сборник научных трудов по итогам Международной научной конференции, посвященной 135-летию со дня рождения профессора В.Е. Зотикова*, Москва, 25 мая 2022 г., Ч. 3, С. 119–123.
- Холбоев, Э.Б. (2023). Особенности свойств трикотажа сложных переплетений. *Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*, Витебск, 19 апреля 2023 г., Т. 2, С. 406–408.
- Холбоев, Э.Б. и Ханхаджаева, Н.Р. (2023). Исследование свойств трикотажа сложных структур. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5 (407), С. 101–107.
- Шамиданова, А.Б. и Рябова, И.И. (2018). Разработка и исследование двухслойного трикотажа с огнезащитными свойствами. *Международная научная студенческая конференция «Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности» (ИНТЕКС-2018)*, Москва, 17–19 апреля 2018 г., Ч. 1, С. 46–48.
- Шамиданова, А.Б., Заваруев, В.А. и Рябова, И.И. (2019). Требования к огнезащитным трикотажным полотнам. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5 (383), С. 270–273.

Шустов, Ю.С., Плеханова, С.В., Шитова, ТИ. и Люкшинова И.В. (2021). Сравнение методик оценки распространения пламени на свойства специальной одежды. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5 (395), С. 63–67.

REFERENCES

Goys, T.O., Novosad, T.N., Mesheleva, T.D. and Gusev, B.N. (2024). Improving Methods for Assessing the Quality of Knitwear [Sovershenstvovanie metodiki ocenki kachestva trikotazhny'kh izdelij]. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 2 (410), pp. 95–99 (In Russian).

Petukhov, A.N. and Davydov, A.F. (2021). Determination of thermal protection properties of a material from exposure to thermal effects [Opredelenie teplozashhitny'kh svoystv materiala ot vozdeystviya teplovogo izlucheniya]. *Teoriya i praktika e'kspertizy, tekhnicheskogo regulirovaniya i podtverzhdeniya sootvetstviya, Moskva, 31 maya 2021 g.* = *Theory and practice of examination, technical regulation and confirmation of product conformity Collection of scientific papers based on the materials of the Round table with international participation, Moscow, May 31, 2021*, pp. 130–133 (In Russian).

Petukhov, A.N., Davydov, A.F., Demokratova, E.B. and Chernysheva, G.M. (2022). Change in heat transfer index under the influence of thermal transfers during a periodic period [Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij]. *Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 1 (397), pp. 115–119 (In Russian).

Spiridonova, V.G. and Tsirkina, O.G. (2021). Analysis of Methods for Assessing the Flame Retardant Properties of Materials [Analiz metodov ocenki ognезashhitny'kh svoystv tekstil'ny'kh materialov]. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 4 (394), pp. 75–81 (In Russian).

Spiridonova, V.G. and Tsirkina, O.G. (2023). Study of Fire Hazardous Properties of Cellulose Fiber Fabrics by Thermal Analysis Methods [Issledovanie pozharopasny'kh svoystv tkanej iz czellyulozny'kh volokon metodami termicheskogo analiza]. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 2 (404), pp. 123–128 (In Russian).

Stroganova, Yu.A. and Davydov, A.F. (2023). Selection of the most significant safety and quality indicators and their assessments for measuring personal hand protection [Vy'bor naibolee znachimy'kh pokazatelej bezopasnosti i kachestva i ikh ocenki dlya sredstv individual'noj zashhity ruk]. *Dizajn i tekhnologii = Design and Technology*, no. 95 (137), pp. 79–87 (In Russian).

Stroganova, Yu.A. and Davydov, A.F. (2023). Selection of defining quality indicators for personal protective equipment against elevated temperatures [Vy'bor opredelyayushhih pokazatelej kachestva dlya sredstv individual'noj zashhity ruk ot povy'shennoy temperatur]. *Sbornik nauchny'kh trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferenczii, posvyashhennoj 75-letiyu so dnya rozhdeniya prof. A.P. Zhikhareva, Moskva, 19 oktyabrya 2022 g.* = *Collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 75th anniversary of the birth of prof. A.P. Zhikharev, Moscow, October 19, 2022*, pp. 174–178 (In Russian).

Khabarova, E.B., Fomina, O.P. and Zavaruev, V.A. (2021). Study of industrial deformation electrodes on the physical and mechanical properties of knitted fabrics [Issledovanie vliyaniya deformatsionny'kh nagruzok na fiziko-mekhanicheskie svoystva trikotazhny'kh poloten]. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 1 (391), pp. 89–94 (In Russian).

Khamidova, D.U., Turakhodzhaeva, N.N. and Khankhadzhaeva, N.R. (2021). On the issue of creating a weave structure for the strength of knitwear [K voprosu vliyaniya struktury perepletenij na prochnost' trikotazha]. *Sbornik nauchny'kh trudov Mezhdunarodnoj nauchnoj konferenczii, posvyashhennoj 150-letiyu so dnya rozhdeniya professora N. A. Vasil'eva, Moskva, 26 maya 2021 g.* = *Collection of scientific papers of the International Scientific Conference dedicated to the 150th anniversary of the birth of Professor N. A. Vasiliev, Moscow, May 26, 2021*. part 2, pp. 123–126 (In Russian).

Kholboev, E.B., Khamidova, D.U. and Khankhadzhaeva, N.R. (2022). Structures of complex knitted weaves [Struktury slozhny'kh trikotazhny'kh perepletenij]. *Sbornik nauchny'kh trudov po itogam Mezhdunarodnoj nauchnoj konferenczii*,

posvyashhennoj 135-letiyu so dnya rozhdeniya professora V.E. Zotikova, Moskva, 25 maya 2022 g. = Collection of scientific papers following the results of the International scientific conference dedicated to the 135th anniversary of the birth of Professor V. E. Zotikov, Moscow, May 25, 2022, part 3, pp. 119–123 (In Russian).

Kholboev, E.B. [2023]. Features of the properties of knitted fabrics with complex weaves [Osobennosti svoystv trikotazha slozhny'kh perepletenij]. *Materialy` dokladov 56-j Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferenczii prepodavatelej i studentov, Vitebsk, 19 aprelya 2023 g. = Proceedings of the reports of the 56th International scientific and technical conference of speakers and students, Vitebsk, april 19, 2023, vol. 2, pp. 406–408 (In Russian).*

Kholboev, E.B. and Khankhadzhaeva, N.R. [2023]. Study of the properties of knitwear of complex structure [Issledovanie svoystv trikotazha slozhny'kh struktur] *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 5 (407), pp. 101–107 (In Russian).

Shamidanova, A.B. and Ryabova, I.I. [2018]. Development and study of two-layer knitwear with flame retardant methods obtained [Razrabotka i issledovanie dvukhslojnogo trikotazha s ogneshchitny'mi svoystvami]. *Mezhdunarodnaya nauchnaya studencheskaya konferentsiya "Innovatsionnoye razvitiye legkoy i tekstil'noj promyshlennosti" (Inteks-2018), Moskva, 17–19 aprelya 2018 g. = International Scientific Student Conference "Innovative Development of Light and Textile Industry" (Intex-2018), Moscow, April 17–19, 2018, part 1, pp. 46–48 (In Russian).*

Shamidanova, A.B., Zavaruev, V.A. and Ryabova, I.I. [2019]. Requirements for flame retardant knitted fabrics [Trebovaniya k ogneshchitny'm trikotazhny'm polotnam]. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 5 (383), pp. 270–273 (In Russian).

Shustov, Yu.S., Plekhanova, S.V., Shitova, T.I. and Lyukshinova, I.V. [2021]. Comparison of the flame spread assessment methodology on the properties of good clothing [Svrnenie metodik ocenki rasprostraneniya plameni na svoystva speczial'noj odezhdy']. *Izvestiya vy'sshikh uchebny'kh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promy'shlennosti*, no. 5 (395), pp. 63–67 (In Russian).

Информация об авторах

Information about the authors

Петухов Александр Николаевич

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Учреждение «Центр «СКС» (некоммерческая организация), Российская Федерация.
E-mail: MadAlexeZ@mail.ru

Aleksandr N. Petukhov

Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Researcher, Institution "SQS Center" (non-profit organization), Russian Federation.
E-mail: MadAlexeZ@mail.ru

Анализ и совершенствование методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви

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

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Актуальность. Качество обуви во многом зависит от целого комплекса свойств, важным показателем которых считается прочность обуви. Прочность обуви в основном обусловлена прочностью её соединений (клеевых, ниточных, клеениточных, сварных и т. д.). Структурный анализ исследований эксплуатационных дефектов обуви показывает, что 15–20 % возвращенной обуви имеет дефекты ниточных соединений. Наибольший процент дефектов приходится на такие позиции, как «разрыв материала заготовки по строчке», «разрыв верхнего канта», «сваливание строчки с края детали», «разрыв строчки». Это связано с действием ряда факторов, проявляющихся во время изготовления и эксплуатации, а также свойствами соединяемых материалов.

Современная методика оценки качества ниточных соединений не учитывает факторы, возникающие в процессе носки обуви, и не отражает реальные условия её эксплуатации. Стандартная методика прочностных испытаний швов при одноцикловом растяжении не позволяет однозначно прогнозировать надёжность соединения деталей заготовки верха обуви при эксплуатации. Поэтому проблема повышения прочности и надёжности соединений обуви остаётся актуальной, так как разрыв соединений является одним из основных дефектов обуви. Таким образом, возникает необходимость в исследовании прочности ниточных соединений и материалов, применяемых при изготовлении швов, с целью выявления недостатков методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви и разработки рекомендаций по её совершенствованию.

Цель работы является исследования прочности ниточных соединений и материалов, применяемых при изготовлении швов, с целью выявления недостатков методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви и разработки рекомендаций по её совершенствованию.

Методы исследований – стандартные методики испытаний при исследовании физико-механических и прочностных свойств материалов для верха обуви и ниточных соединений.

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

Ключевые слова: обувь, детали верха, ниточные соединения, прочность, оценка качества.

Информация о статье: поступила 04 марта 2025 года.

Analysis and improvement of the methodology of estimation of strength of threaded joints of shoe upper parts

Natalia N. Pryanik, Vilia D. Borozna,
Alexander N. Burkin

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. Relevance. The quality of footwear largely depends on a comprehensive set of properties, among which the strength of footwear is a significant indicator. The footwear strength is primarily determined by the strength of its joints (adhesive, thread-adhesive, welded, etc.). Structural analysis of studies on operational defects of footwear reveals that 15–20 % of returned shoes exhibit defects in threaded joints. The largest percentage of defects falls on such positions as “tearing of the workpiece material along the stitching”, “upper edge tearing”, “stitch detachment from part edges”, “stitching breakage”. This is due to various factors arising from manufacturing processes, operational stresses and material properties.

Current methods for evaluating quality of threaded joints fail to account for dynamic wear factors or replicate real-world operation conditions. The standard method of strength tests of seams under single-cycle stretching does not reliably predict the operational durability of shoe upper joints. Therefore, the problem of improving the strength and reliability of the joints of footwear remains relevant, since the rupture of joints is one of the main defects of footwear. Thus, there is a need to study the strength of threaded joints and materials used in the manufacture of seams, in order to identify the shortcomings of the methodology for assessing the strength of threaded joints in shoe upper parts and to propose improvements.

The purpose of the work: To investigate the strength of thread joints and materials used in the manufacture of seams, identify the shortcomings of the methodology for assessing the strength of thread joints in shoe upper parts, and propose recommendations for its improvement.

Methods of research: Standard test methods focused on the physical-mechanical and strength properties of materials for shoe upper and threaded joints.

Results of the work: Recommendations to eliminate the shortcomings of the standardized method used to assess the strength of threaded joints of shoe upper parts.

Keywords: footwear, shoe upper parts, threaded joints, strength, quality assessment.

Article info: received March 04, 2025.

Введение

Производство обуви – это сфера высоких технологий. Количество патентов, получаемых ведущими разработчиками обуви, не сильно отстает от других ведущих отраслей. Стремление сохранить конкурентоспособность в условиях постоянно растущих требований к обуви побуждает производителей искать новые эргономичные подходы и внедрять современные технологии на каждом этапе – от проектирования до выпуска готовой продукции. [А.И. Карасева, 2020].

Однако вопросы, связанные с качеством продукции, остаются актуальными для производителей и потребителей обуви. Качество обуви во многом зависит от целого комплекса свойств, важным показателем которых считается прочность обуви. Прочность обуви в основном обусловлена прочностью её соединений (клеевых, ниточных, сварных и т. д.) [А.Г. Атоян & А.Р. Оганнисян, 2024]. Структурный анализ исследований эксплуатационных дефектов обуви, проведенный в работах [З.А. Минасян & А.Г. Атоян, 2016; А.А. Яковлева & Т.М. Борисова & З.Г. Максина, 2017], показывает, что 15–20 % возвращенной обуви имеет дефекты ниточных соединений. Наибольший процент дефектов приходится на такие позиции, как «разрыв материала заготовки по строчке», «разрыв верхнего канта», «сваливание строчки с края детали», «разрыв строчки». Это связано с действием ряда факторов, проявляющихся во время изготовления и эксплуатации, а также со свойствами соединяемых материалов.

Все виды воздействий на ниточные соединения подразделяются на два типа: технологические и экс-

плуатационные. В зависимости от этапа производства выделяют факторы, воздействующие на стадии проектирования, стадии изготовления и стадии эксплуатации. Выделяют следующие факторы, влияющие на качество шва: свойства сшиваемых материалов, свойства ниток, свойства шва, технические характеристики оборудования, воздействие стопы и окружающей среды.

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].

До 1970-х годов в обувной промышленности для сборки заготовок верха обуви использовались преимущественно хлопчатобумажные нитки. Однако с развитием технологий ассортимент ниток значительно расширился, включив синтетические материалы, такие как капроновые, лавсановые и полипропиленовые нитки. Эти материалы обладают повышенной прочностью, устойчивостью к агрессивным средам и износостойкостью.

Ряд научных исследований показал, что прочность ниточных швов зависит от множества 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 ча-

стоты 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 играет 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). 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.

Ниточные швы обуви подвергаются механическим, физико-химическим и другим воздействиям в процессе производства и эксплуатации, что приводит к их деформации и разрушению. Для оценки их прочности используют стандарт ГОСТ 9290-76 «Обувь. Методы определения прочности ниточных швов соединения

деталей верха», который предполагает статические испытания на разрывной машине. Существующий метод исследования прочности ниточных швов имеет ряд недостатков, которые влияют на процесс проведения испытаний, вследствие чего получаются некорректные данные. Одним из них является то, что расстояние 25 мм между зажимами разрывной машины РМ-250 неудобно для закрепления образцов и наблюдения за характером разрушения ниточных швов.

Предлагаемые размеры образцов практически невозможно выкроить из большинства конструкций обуви, а также из ряда других видов обуви, таких как дошкольная, школьная, мальчиковая, девичья и т. д. В том случае, если шов попадает в область каркасных деталей верха (задник, подносок), непонятно, какие процедуры нужно выполнять. На рисунке 1 изображены места, из которых невозможно выкроить образцы указанного размера.

В стандарте указано, что проводить испытания можно как на готовой обуви, так и на заготовках верха, а это не одно и то же. Заготовка верха обуви после формова-



Рисунок 1 – Примеры конструкции обуви, из которых невозможно выкроить образцы для испытания по ГОСТ 9290-76

Figure 1 – Examples of footwear construction inappropriate for cutting out samples for testing according to GOST 9290-76

ния и влажно-тепловой обработки будет иметь другую структуру комплектующих её материалов, а следовательно, и другие физико-механические свойства. Также совсем непонятно, из каких соображений выбраны размеры непростроченных образцов (рисунок 2).

В процессе проведения испытаний возникает концентрация напряжений на краях ниточных соединений, вследствие чего появляется краевой эффект, связанный с поперечным сокращением образца, что влияет на достоверность получаемых экспериментальных данных (рисунок 2).

Образцы вырезают из тех участков заготовки, которые подвергаются наибольшему напряжению при носке обуви. При эксплуатации детали верха обуви и ниточные швы подвергаются многократным изгибам и растяжениям. Однако в стандарте не предусмотрена процедура циклических испытаний ниточных швов, которая учитывала бы все факторы, возникающие при реальной носке

обуви.

Образцы необходимо вырезать из участков обуви или заготовки с наименьшей кривизной. Из каждого участка вырезают по одному образцу. Это практически сделать очень сложно при предлагаемых стандартом размерах.

Длину строчки, имеющей кривизну, предварительно промеряют ниткой. Ничего не сказано о том, как размещать в этом случае образец и какую величину нужно брать за длину строчки: ширину образца – 40 мм или величину, замеренную ниткой.

При проведении испытаний образец закрепляют в зажимах разрывной машины так, чтобы первая строчка располагалась посередине между зажимами разрывной машины и параллельно граням зажимов. Если строчка криволинейная, последнее не удаётся реализовать.

Подкладку и межподкладку в зажимах не закрепляют. Значит, межподкладку придётся отрывать от наруж-

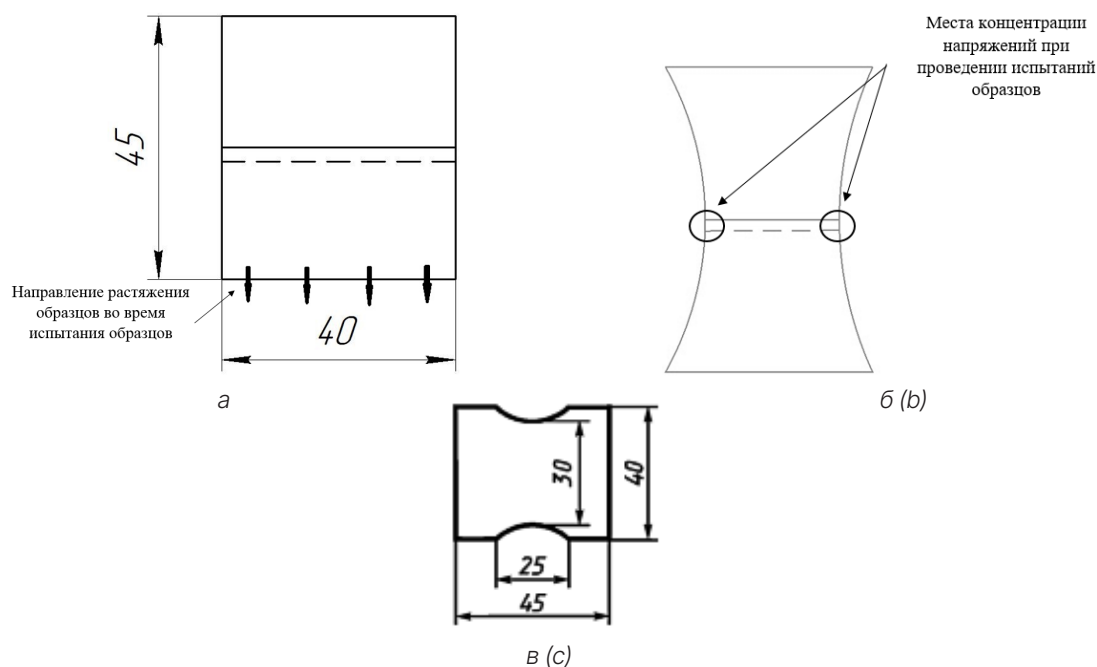


Рисунок 2 – Формы образцов для испытаний ниточных соединений по ГОСТ 9290:

а – форма образца, выкроенного из готовой обуви; б – внешний вид образца в процессе испытания;
в – форма непростроченных образцов

Figure 2 – Shapes of samples for testing threaded joints according to GOST 9290:

а – the shape of the sample cut out of finished shoes; б – the view of the sample in the process of testing;
с – the shape of unstitched samples

ных деталей верха.

Наряду с отечественной методикой оценки существуют аналогичные зарубежные методы оценки прочности ниточных швов в статических условиях. В работе (А.Н. Буркин & Н.В. Комлева, 2005) проведён сравнительный анализ отечественных и зарубежных методик оценки прочности ниточных соединений (французская NFG 52.020, чешская методика CSN 800110). Чешские и французские методики схожи с отечественными, но отличаются формой образцов и способом нагружения. Например, французский метод использует «граб»-метод, а чешский – «стрип». Однако все эти методы не позволяют полностью оценить эксплуатационные свойства швов, так как они не учитывают многократные растягивающие и истирающие нагрузки, характерные для реальных условий носки.

В условиях последующей эксплуатации в ниточных швах не возникают предельные напряжения, поскольку сдавливание стопы заготовкой верха обуви недопустимо по требованиям эргономичности. Однако при эксплуатации обувные детали и швы подвергаются многократным изгибным и изгибно-растягивающим деформациям при сравнительно невысоком уровне напряжений по сравнению с напряжениями, возникающими в процессе формования. В реальных условиях эксплуатации следует учитывать и возможность механических повреждений единичных стежков, которые также отрицательно влияют на надёжность обуви.

Методика оценки качества ниточных соединений по ГОСТ 9290-76 «Обувь. Методы определения прочности ниточных швов соединения деталей верха» не учитывает факторы, возникающие в процессе носки обуви, и не отражает реальные условия её эксплуатации. С учётом изложенных соображений стандартная методика прочностных испытаний швов при одноцикловом растяжении не позволяет однозначно прогнозировать надёжность соединения деталей заготовки верха обуви при эксплуатации. Поэтому проблема повышения прочности и надёжности соединений обуви остаётся актуальной, так как разрыв соединений является одним из основных дефектов обуви.

Таким образом, данное исследование направлено на анализ прочности ниточных соединений и материалов, применяемых при изготовлении швов, с целью выявления недостатков в существующей методике оценки прочности соединений деталей верха обуви и разработки рекомендаций по её совершенствованию.

Объекты, методы и средства исследования

В связи с тем, что на качество ниточного соединения влияют физико-механические свойства соединяемых материалов, то объектами исследования были выбраны мужские полуботинки осенне-весеннего периода носки, натуральная кожа крупного рогатого скота, применяемая в деталях верха обуви указанной модели обуви, текстильные нитки, используемые при пошиве заготовки верха обуви и ниточные соединения деталей верха обуви.

Отобраны образцы кожматериала типа: Santana, Калифорния спорт, Полуанилин, Фиджи (производства АО «Русская кожа», г. Рязань), Краст (производства ООО «Арсенал Трейд», Россия), ТулипСофти, Милано, Тигина (производства ОАО «Минское производственное кожевенное объединение», агрогородок Гатово, Минский р-н), Спиллок подкладочный (производства АО «Русская кожа», г. Рязань и ОАО «Минское производственное кожевенное объединение», р-н агрогородка Гатово Минский р-н).

Исследования механических свойств натуральной кожи проводят с помощью разрывной машины РТ-250М со скоростью перемещения нижнего зажима 100 мм/мин по ГОСТ 938.11-69 «Кожа. Метод испытания на растяжения». Элементарные пробы выкраивались согласно ГОСТ 938.0-75 «Кожа. Метод отбор проб». Образцы для испытаний на растяжение имеют форму двусторонней лопатки с размерами рабочей части 50x10 мм. Для исследования физико-механических свойств были выкроено 23 образца. Перед испытанием все образцы выдерживаются в нормальных условиях не менее 24 часов.

По данному стандарту были определены следующие физико-механические свойства: толщина, мм; разрывная нагрузка, P_p , Н; предел прочности при разрыве, σ_p , МПа; относительное удлинение при разрыве, ϵ_p , %; относительное остаточное удлинение, $\epsilon_{ост}$, %.

Толщину определяют контактным методом с помощью толщиномера типа ТН 10-60 с погрешностью на всем диапазоне $\pm 0,018$ мм. Перед испытанием образцы выдерживаются в нормальных условиях не менее 24 часов. Удельное давление измерительной площадки толщиномера на образец должно составлять $(0,5-1,5) \cdot 10^4$ Па.

Для определения относительного остаточного удлинения образцы подвергаются деформированию на 15 % и 30 % в зажимах разрывной машины и выдерживаются в течение $(3 \pm 0,5)$ мин. Затем нижнему зажиму разрыв-

ной машины сообщают обратный ход, образец освобождают из зажимов и на 30 мин оставляют в покое в нормальных условиях относительной влажности и температуры воздуха. По истечению указанного времени измеряют длину рабочего участка образца и вычисляют приращение длины в миллиметрах.

Методика является стандартной и характеризует одноосную деформацию и даёт возможность расчёта разрывных характеристик материала. Она является наиболее подходящей для определения физико-механических характеристик материала.

С целью анализа прочностных свойств обувных ниток, применяемых для сборки заготовок на предприятиях Республики Беларусь, и анализа методов оценки качества были проведены исследования по изучению физико-механических свойств обувных ниток. Объектами исследования были выбраны полиэфирные нити с маркировкой 70Л (производства ЗАО «Моснить» и ОАО «Советская звезда»), армированные нити с полиэфирным стержнем с полиэфирной наружной оплеткой маркировки 70ЛЛ (производства ОАО «Советская звезда»), 86Л (производства ОА ПНК «Красная нить»), 86Л-1 (производства ОАО «Советская звезда»), 86ЛЛ (производитель ЗАО «Моснить») и полиэфирная комплексная нить 40/3 (производства «SAFIRA» Ltd, Индия), которые в настоящее время используются на ЧТПУП «Ильвада» г. Витебска для сборки заготовок верха обуви.

Для исследуемых нитей определялась фактическая линейная плотность по ГОСТ 6611.1-73 «Нити текстильные. Метод определения линейной плотности». Сущность метода заключается в отматывании нити определенной длины в виде пасмы или отрезка и определении ее массы. Количество точечных проб отбирали не менее 5 образцов. Для определения линейной плотности нитей применяли отрезки нитей длиной 0,5 м.

Для проведения испытания использовали весы лабораторные ОНАУС Pioneer PA214С по ГОСТ 24104-2001 «Весы лабораторные. Общие технические условия» специального класса точности.

Физико-механические свойства исследуемых текстильных ниток определяют по ГОСТ 6611.2-73 «Нити текстильные. Методы определения разрывной нагрузки и удлинения при разрыве». Отбор проб производился по ГОСТ 6611.0-73 «Нити текстильные. Правила приемки» в количестве не менее 10 проб. Для проведения испытания применяют разрывную машину РМ-30-1. Расстояние между зажимами разрывной машины при-

нимали равным (500 ± 1) мм. Скорость опускания нижнего зажима разрывной машины устанавливали равной 100 мм/мин. Подготовка к испытанию проводят по ГОСТ 6611.1-73 «Нити текстильные. Метод определения линейной плотности».

Для исследуемых образцов определяли следующие характеристики:

- разрывную нагрузку P_p , Н (методом разрыва одной нити);
- удлинение при разрыве L , %;
- удельную разрывную нагрузку нитей P_y , сН/текс.

Прочность ниточных соединений материалов верха обуви определяет по ГОСТ 9290-76 «Обувь. Метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха», который распространяется на обувь из натуральной, искусственной и синтетической кожи, текстиля, комбинированную всех видов, конструкций и назначений и устанавливает метод определения прочности ниточных швов соединения деталей верха.

Испытание прочности ниточных швов проводится на разрывной машине, предельная нагрузка которой по соответствующей шкале не должна превышать нагрузку разрыва образцов более чем в 10 раз.

Перед проведением испытания расстояние между зажимами разрывной машины устанавливается 25 мм. Скорость движения нижнего зажима при испытании устанавливается 100 мм/мин.

Образцы для испытания по методике ГОСТ 9290-76 выкраиваются размером 45х40 мм (меньшая сторона располагается вдоль строчки) с размерами рабочей части 25 мм. Форма образцов для испытаний ниточных соединений по ГОСТ 9290 представлена на рисунке 1. Затем выполняется сострачивание образцов, из материалов наружных деталей верха обуви, швами определенных конструкций с закреплением концов строчек.

Перед испытанием измеряется длина строчки образцов масштабной линейкой с погрешностью не более 0,5 мм. Длина строчки измеряется между крайними проколами. После чего образец закрепляют в зажимах разрывной машины так, чтобы шов располагался посередине, т. е. в 12,5 мм от каждого зажима и был параллелен краям зажимов.

По окончании испытания фиксируется разрывная нагрузка и характер разрушения шва.

Прочность шва (P) в ньютонах вычисляется по формуле 1:

$$P = \frac{P_i}{l}, \quad (1)$$

где P_i – разрывная нагрузка образца, Н; l – длина строчки на испытанном образце между крайними проколами, см.

Коэффициент прочности шва (K) в процентах рассчитывается по формуле 2:

$$K = \frac{P_1 \cdot b}{P_2 \cdot l_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где P_1 – нагрузка на простроченный образец в момент разрыва, Н; P_2 – наименьшая нагрузка из двух простроченных образцов в момент разрыва, Н; l_1 – длина шва на простроченном образце между крайними проколами, см; b – ширина простроченного образца в самом узком участке, см.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

В таблице 1 представлены усреднённые результаты исследования показателей физико-механических свойств натуральной кожи по 24 образцам.

Для анализа физико-механических свойств натуральных кож будем использовать ГОСТ 939-2021 «Кожа для верха обуви. Технические условия». Данный стандарт распространяется на кожу для верха обуви различного назначения. Все исследованные материалы соответствуют стандарту по толщине. Диапазон предела прочности исследованных натуральных кож составляет от 9,3 до 13,6 МПа. Из таблицы 1 видно, что 74 % исследуемых образцов «в виде лопаточки» не соответствуют норме по показателю «предел прочности при растяжении».

По показателю «предел прочности при разрыве» осуществлена статистическая обработка данных, в таблице 2 представлена статистическая обработка результатов измерения физико-механических свойств.

Анализируя полученные статистические характеристики, можно сделать вывод о том, что точность и надёжность числовых характеристик высокая.

Результаты испытаний физико-механических свойств ниток представлены в таблице 3. В таблице 3 приведены усреднённые значения физико-механических свойств по пяти образцам. Предельно допустимые значения физико-механических свойств представлены в таблице 4.

Анализируя таблицу 3, можно отметить, что полиэфирные нити 70Л производства ОАО «Советская звезда» и 70ЛЛ производства ОАО «Советская звезда» имеют наименьшую разрывную нагрузку. У остальных ниток значение разрывной нагрузки колеблется от 30 Н до 38 Н. Однако все исследуемые образцы не соответствуют требованиям стандарта ГОСТ 30226-93 по показателю «разрывная нагрузка».

У большинства материалов значение коэффициента вариации по разрывной нагрузке колеблется от 0,9 % до 6,1 %. Наименьшее значение коэффициента вариации по разрывной нагрузке у полиэфирной нити 70Л производства ЗАО «Моснити», а наибольшее значение данного показателя у полиэфирной нити 70ЛЛ производства ОАО «Советская звезда». Все исследуемые нитки соответствуют требованиям стандарта ГОСТ 30226-93 по данному показателю.

Почти все исследуемые обувные нитки имеют относительное удлинение при разрыве в пределах 14–20 %, что значительно ниже предельно допустимого значения удлинения при разрыве по ГОСТ 30226-93.

Таблица 1 – Усредненные результаты показателей физико-механические свойства натуральной кожи
Table 1 – Averaged results of physical and mechanical properties of natural leather

Показатель	Значение показателя
Толщина, мм	1,6
Разрывная нагрузка P_p , Н	180,0
Предел прочности при разрыве σ_p , МПа	11,2
Относительное удлинение при разрыве ε_p , %	73,9
Относительное остаточное удлинение при деформировании образца на 15 %, $\varepsilon_{ост}$, %	15,0
Относительное остаточное удлинение при деформировании образца на 30 %, $\varepsilon_{ост}$, %	26,7

Таблица 2 – Статистическая обработка результатов измерения физико-механических свойств по показателю «предел прочности»

Table 2 – Statistical processing of the results of measuring physical and mechanical properties by the indicator "tensile strength"

Характеристики	Значения
Средняя арифметическая величина $\bar{x}$, МПа	11,20
Дисперсия $S^2\{x\}$, МПа ²	2,36
Среднее квадратическое отклонение $S\{x\}$, МПа	1,53
Коэффициент вариации $C_v\{x\}$	0,14
Квадратическая неровнота $C_{v\%}\{x\}$, %	13,7
Абсолютная доверительная ошибка $\epsilon(\bar{x})$, МПа	0,64
Относительная доверительная ошибка $\delta(\bar{x})$, МПа	0,06
Доверительный объем $m(\bar{x})$	23

Таблица 3 – Характеристика швейных ниток и их физико-механические свойства

Table 3 – Characteristics of sewing threads and their physical and mechanical properties

Маркировка	Производитель	Состав	Фактическая линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %	Относительное удлинение при разрыве, %,	Удельная разрывная нагрузка нитей, сН/текс
70Л	ЗАО «Моснить»	100 % полиэфир	72,34	33,2	1,7	13,7	0,46
			72,86	30,3	3,3	14,3	0,42
			75,6	28,5	4,6	15,3	0,38
ОАО «Советская звезда»	65,36		21,2	3,6	18,0	0,32	
70ЛЛ	ОАО «Советская звезда»		77,84	32,0	5,6	16,2	0,41
86Л	АО ПНК «Красная нить»		65,56	23,7	6,1	16,0	0,36
86Л-1	ОАО «Советская звезда»		192,24	38,3	4,4	20,7	0,20
86ЛЛ	ЗАО «Моснить»		96,16	32,2	5,4	16,3	0,33
40/3	«SAFIRA», ltd		89,00	36,7	2,8	16,5	0,41
				153,92	30,7	3,7	14,7

Таблица 4 – Предельно допустимые значения физико-механических показателей текстильных ниток
Table 4 – Maximum permissible values of physical and mechanical parameters of textile threads

Физико-механические показатели	41 Л	70Л	70ЛЛ	86Л
Результирующая номинальная линейная плотность ниток R_n , текс	44,0	70,5	65,0	87,8
Разрывная нагрузка при испытании методом разрыва одной нити, Н, не менее	21,0	35,0	25,99	39,55
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, %, не более	8,0	10,0	8,5	9,0
Удлинение при разрыве, %, не более	22	24	23	21

Значения физико-механических свойств непростроченных образцов представлены в таблице 5.

В таблице 6 указаны усреднённые результаты испытаний прочности ниточных соединений по пяти образцам.

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 90 Н/см при одной строчке и 115 Н/см при двух строчках.

Анализируя полученные данные, можно отметить, что разрывная нагрузка однорядной строчки варьируется от 237 Н до 302 Н. Наименьшую нагрузку равную

237 Н имеют образцы, прошитые полиэфирными нитками 86Л. Наибольшую нагрузку имеют образцы, прошитые нитками 70Л. Следовательно, данные образцы имеют наибольший (3,04 %) и наименьший (2,39 %) коэффициент потери прочности шва.

Разрывная нагрузка двухрядного шва варьируется от 302 Н до 500 Н. Наименьшую нагрузку равную 373 Н имеют образцы, прошитые полиэфирными нитками 40Л и 70ЛЛ. Данный образец имеет наименьшее значение коэффициента прочности шва, равное 3,77 %. Наибольшую нагрузку равную 500 Н имеют образцы, прошитые нитками 86Л и 70ЛЛ. Данный образец имеет наибольшее значение коэффициента прочности шва, равное 5,05 %.

Таблица 5 – Физико-механические свойства непростроченных образцов
Table 5 – Physical and mechanical properties of unstitched samples

Порядковый номер пробы	Толщина, мм	Разрывная нагрузка Рр, Н	Относительное удлинение при разрыве, %
1	1,5	738	72
2	1,5	788	84
3	1,6	770	84
4	1,4	848	88
5	1,3	620	76
6	1,4	754	92
7	1,4	620	84
8	1,5	706	80
9	1,4	761	92
10	1,4	804	96
11	1,4	711	84
12	1,4	792	88

Таблица 6 – Результаты испытаний прочности ниточных соединений
Table 6 – Results of strength tests of threaded joints

Вид строчки	Удлинение при разрыве		Разрывная нагрузка <i>P</i> , Н	Нагрузка, приходящаяся на 1 см строчки, Н	Коэффициент прочности шва <i>K</i> , %	Характеристика разрыва (кожа, нитки и др.)
	мм	%				
Нитки 40Лх70Л						
Однорядная	21	84	256	63,9	2,58	Материал (вверх)
Двухрядная	39	156	302	75,4	3,04	Материал (вверх)
Нитки 70Лх70Л						
Однорядная	28	112	302	56,8	3,04	Материал (вверх)
Двухрядная	24	98	405	101,3	4,09	Материал (вверх)
Нитки 86Лх70ЛЛ						
Однорядная	31	124	271	67,7	2,73	Материал (вверх)
Двухрядная	34	135	500	125	5,05	-
Нитки 86Лх86Л						
Однорядная	21	82	237	59,3	2,39	Материал (вверх)
Двухрядная	24	98	374	93,5	3,78	Материал (вверх)
Нитки 70Лх70Л						
Однорядная	17	68	244	61,1	2,47	Ниточный шов

Необходимо обратить внимание на то, что разрыв всех образцов ниточных соединений происходил по краям, что говорит о концентрации напряжений в крайних участках (рисунок 2 б). Это, в свою очередь, приводит к искажению результатов при измерении прочности швов.

Норма прочности ниточных креплений деталей верха обуви по показателю «разрывная нагрузка по каждому образцу» для одной строчки должна быть не менее 90 Н, а для двух строчек – не менее 115 Н. Практически все исследуемые образцы имеют более низкие значения по показателю «разрывная нагрузка по каждому образцу на 1 Н/см», чем нормируемые значения показателя по ГОСТ 21463-87 «Обувь. Нормы прочности», кроме образца, прошитого нитками 86Л и 70ЛЛ.

Вывод

Надежность обуви – ключевой потребительский показатель качества, во многом определяемый прочностью ниточных соединений деталей верха. Проведенные исследования показали, что большинство используемых текстильных ниток и натуральных кож в заготовке верха обуви не соответствуют нормируемым значениям физико-механических свойств. Это свидетельствует о том, что

подбор материалов для верха обуви на этапе запуска производства зачастую осуществляется без предварительных испытаний, исключительно на основе данных, предоставленных поставщиками. Несоответствие материалов установленным требованиям напрямую снижает прочность ниточных соединений, что в итоге ухудшает качество и долговечность готовой обуви.

Значительное влияние на прочность швов оказывают технологические воздействия в процессе производства: предварительное формование деталей верха обуви, формование заготовки верха обуви, влажно-тепловая обработка. При формовании деталей верха в материале, текстильных нитках и шве возникают внутренние напряжения, которые снижают прочность ниточных швов. В результате даже изначально прочные текстильные нитки и натуральная кожа теряют прочность, что в конечном итоге снижает надежность обуви.

Анализ существующего метода оценки прочности ниточных соединений выявил ряд недостатков, которые заключаются в следующем: предлагаемые размеры образцов невозможно выкроить из многих конструкций обуви, при проведении испытаний из-за формы

образца возникает напряжение на краях, что искажает результаты испытаний, не учитывает влияние технологических факторов. Также методика оценки качества ниточных соединений не учитывает факторы, возникающие в процессе носки обуви, и не отражает реальные условия её эксплуатации, вследствие чего исключается возможность получения корректных данных в процессе проведения испытаний.

Существующая нормативная документация характеризует только технологический этап изготовления изделий на стадии подготовки производства и не оценивает влияния технологических факторов на всех процессах сборки. Известно, что в процессе обувного производства происходит потеря прочности ниточных швов при сборке заготовки за счёт теплового воздействия и динамических нагрузок на нитку, а также при формо-

вании заготовки на колодке. Кроме того, в нормативной документации отсутствуют методики, связанные с исследованием ниточных соединений в динамике.

Для устранения выявленных недостатков указанных выше авторами предлагается вырезать образцы из готовой обуви крестообразной формы с рабочей частью 10×25 мм, что позволит снизить напряжение на краях образцов, а также исследовать образцы не доводя до разрыва при деформации равной деформации при формировании верха обуви.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в совершенствовании существующие методики оценки прочности ниточных соединений деталей верха обуви и разработке комплексных методов прогнозирования и оценки прочности ниточных соединений деталей обуви.

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*. Москва: ЦНИИТЭИлегпром, СССР.

Атоян, А.Г. [2024]. Разработка методов оценки прочности соединений. *Вестник НПУА. Металлургия, материаловедение, недропользование*, № 1, С. 56–65.

Буркин, А.Н. и Комлева, Н.В. [2005]. Анализ методов оценки ниточных швов. *Новости. Стандартизация и сертификация*, № 1, С. 46–48.

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

Карасева, А.И., Костылева, В.В. и Синева, О.В. [2020]. Инновационные конструкции и технологии производства повседневной обуви в спортивном стиле. *International journal of professional science*, № 8, С. 35–49.

Минасян, З.А. [2016]. Современное состояние проблемы прочности соединений деталей обуви. *Вестник НПУА. Механика, машиноведение, машиностроение*, № 1, С. 12–20.

Пряник, Н.Н., Борозна, В.Д. и Буркин, А.Н. [2024]. Анализ метода контроля прочности ниточных соединений заготовок верха обуви. *Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов: сборник статей 9 Международной научно-технической конференции, Могилев, 26–27 сентября 2024 г.*, С. 182–187.

Яковлева, А.А. [2017]. Анализ качества выполнения сборки заготовок верха обуви ниточными швами различных конструкций. *Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы докладов международной научно-технической конференции, посвященной Году науки, Витебск, 21–22 ноября 2017 г.*, С. 177–179.

Barbulov-Popov, D., Cirkovic, N. and Stepanovic, J. [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., Kakde M. V. and Shinde, T. [2020]. Review on analysis of seam quality. In: *Chemistry and technology of natural and synthetic dyes and pigments*, pp. 285–292.

Chen, J.C., Aryka Pradhana Putra, Nikita Anggono, Chen, Jeff., 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, pp. 1099–1106.

Ghani, S.A. (2011). *Seam performance: analysis and modelling*. The University of Manchester, UK.

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.

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

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.

REFERENCES

Arevkova, M.V., Shvarts, A.S., Gavrilov, S.N. and Shangina, V.F. (1975). *Vliyaniye nagreva igly shveytnoy mashiny na prochnost' nitochnykh shvov zagotovok obuvi* [Influence of heating of sewing machine needle on strength of thread seams of shoe blanks]. Moscow: TsNIIITeIllegprom, USSR [In Russian].

Atoyan, A.G. (2024). Development of methods of estimation of strength of joints [Razrabotka metodov otsenki prochnosti soyedineniy]. *Vestnik NPUA. Metallurgiya, materialovedeniye, nedropol'zovaniye = Bulletin of NPUA. Metallurgy, material science, subsoil use*, no. 1, pp. 56–65 [In Russian].

Burkin, A.N. and Komleva, N.V. (2005). Analysis of methods of evaluation of thread sutures [Analiz metodov otsenki nitochnykh shvov]. *Novosti. Standartizatsiya i sertifikatsiya = News. Standardization and certification*, no. 1, pp. 46–48 [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 [Sovershenstvovaniye klassifikatsii faktorov, vliyayushchikh na kachestvo nitochnogo soyedineniya v zagotovke verkha obuvi]. *Dizayn i tekhnologii = Design and Technology*, no. 31 (73), pp. 20–25 [In Russian].

Karaseva, A.I., Kostyleva, V.V. and Sineva, O.V. (2020). Innovative designs and technologies of production of casual shoes in sports style [Innovatsionnyye konstruksii i tekhnologii proizvodstva povsednevnoy obuvi v sportivnom stile]. *International journal of Professional Science*, no. 8, pp. 35–49 [In Russian].

Minasyan, Z.A. (2016). Current state of the problem of strength of joints of shoe parts [Sovremennoye sostoyaniye problemy prochnosti soyedineniy detaley obuvi]. *Vestnik NPUA. Mekhanika, mashinovedeniye, mashinostroyeniye = Bulletin of NPUA. Mechanics, mechanical engineering, mechanical engineering*, no. 1, pp. 12–20 [In Russian].

Pryanik, N.N., Borozna, V.D. and Burkin, A.N. (2024). Analysis of a method for controlling the strength of threaded joints of shoe upper blanks [Analiz metoda kontrolya prochnosti nitochnykh soyedineniy zagotovok verkha obuvi]. *Sovremennyye metody i pribory kontrolya kachestva i diagnostiki sostoyaniya ob"yektov: sbornik statey 9 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Mogilev, 26–27 sentyabrya 2024 g. = Modern methods and devices of quality control and diagnostics of the state of objects : collection of articles of the 9th International Scientific and Technical Conference, Mogilev, September 26–27, 2024*, pp. 182–187 [In Russian].

Yakovleva, A.A. (2017). Analysis of quality of performance of assembly of shoe upper blanks by threaded seams of different designs [Analiz metoda kontrolya prochnosti nitochnykh soyedineniy zagotovok verkha obuvi]. *Sovremennyye metody i pribory kontrolya kachestva i diagnostiki sostoyaniya ob"yektov: sbornik statey 9 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, Mogilev, 26–27 sentyabrya 2024 g. = Innovative technologies in textile and light industry: materials of reports of the international scientific and technical conference dedicated to the Year of Science, Vitebsk, November 21–22, 2017*, pp. 177–179 [In Russian].

Barbulov-Popov, D., Cirkovic, N. and Stepanovic, J. (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., Kakde M. V. and Shinde, T. (2020). Review on analysis of seam quality. In: *Chemistry and technology of natural and synthetic dyes and pigments*, pp. 285–292.

Chen, J.C., Aryka Pradhana Putra, Nikita Anggono, Chen, Jeff., 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*, pp. 1099–1106.

Ghani, S.A. [2011]. *Seam performance: analysis and modelling*. The University of Manchester, UK.

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.

Kordoghi, B., Cheikhrouhou, M. and Saidene, C.K. [2009]. Mechanical behavior of seams on treated fabrics. *AUTEX research journal*, vol. 9, pp. 87–92.

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.

Информация об авторах

Information about the authors

Пряник Наталья Николаевна

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

E-mail: s_kotik_ne@mail.ru

Борозна Вилия Дмитриевна

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

E-mail: wiliij@mail.ru

Буркин Александр Николаевич

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

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

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: wiliij@mail.ru

Alexander N. Burkin

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

E-mail: a.burkin@tut.by

Способ переработки отходов производства стеклопластиков

**Е. Г. Федарович, А. Э. Левданский,
А. А. Ковалева**

*Белорусский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. В настоящее время отмечается рост объема мирового рынка полимерных композиционных материалов, из которых наиболее широко распространенным является стеклопластик. Серьезной проблемой объемного производства и применения полимерных композиционных материалов является непереносимое образование отходов, оказывающих негативное влияние на окружающую среду. Для решения поставленной проблемы предлагается осуществлять переработку отходов стеклопластика механическим методом, путем их селективного измельчения в ударно-центробежной мельнице с последующей механической классификацией продуктов измельчения.

Цель работы заключается в изучении фракционного состава продуктов переработки отходов стеклопластика в зависимости от режимов работы измельчителя. Для этого разработана экспериментальная установка исследования процесса механической переработки отходов стеклопластика. Механической переработке подвергались отходы производства стеклопластиковых изделий Депо С-180 ПТ образующиеся на предприятии ООО «Полоцк-Стекловолокно». В процессе исследований изменялась частота вращения ротора ударно-центробежной мельницы в диапазоне 1200–3000 об/мин. Полученные продукты переработки стеклопластика подвергали рассеву на фракции с последующим определением длины волокон в волокнистой фракции. Поверхность волокон и продуктов механической классификации исследовали при помощи микроскопа с 50–500 кратным увеличением.

Установлено, что метод механической переработки с использованием ударно-центробежной мельницы позволяет выделить из стеклопластиковых отходов волокнистую фракцию, при этом ее количество в продуктах селективного измельчения напрямую зависит от частоты вращения ротора. Экспериментально определено, что переработку стеклопластиковых отходов целесообразно проводить при частоте вращения ротора в ударно-центробежной мельнице 2400 об/мин, что обеспечивает максимальный выход волокнистой фракции с наибольшим содержанием волокон длиной 12–18 мм. Выявлено, что механическая классификация не позволяет полностью разделить продукты переработки стеклопластиковых отходов на волокна и частицы полимерной матрицы. При механической классификации на ситах с размером ячейки 0,045–0,5 мм наблюдается образование «комков», препятствующих прохождению волокон и частиц через поверхность сита.

Ключевые слова: стеклопластиковые отходы, механическая переработка, селективное измельчение, ударно-центробежная мельница, классификация, волокно, матрица.

Информация о статье: поступила 26 ноября 2024 года.

Method for recycling waste generated in the production of fiberglass-reinforced plastic

Evgeniy G. Fedarovich, Alexander E. Levanski, *Belarusian State Technological University,*
Anastasiya A. Kovaleva *Republic of Belarus*

Abstract. Currently, the global market volume of polymer composite materials is increasing, the most widely used of which is fiberglass. A significant associated with large-scale production and application of these materials is the inevitable generation of waste, exerting a negative environmental impact. To address this issue, mechanical recycling of fiberglass waste is proposed, involving selective grinding in an impact-centrifugal mill followed by mechanical classification of the ground products.

The aim of the work is to analyze the fractional composition of fiberglass waste recycling products as a function of the mill's operational parameters. An experimental setup was designed and implemented to investigate the mechanical

recycling process. Fiberglass waste (Depol S-180 PT) generated by Polotsk-Steklovolokno Company was processed. The rotation frequency of the mill's rotor was varying in the range of 1200–3000 rpm. The resulting products were sieved into fractions, followed by measurement of fiber lengths in the fibrous fraction. The fiber surfaces and classification products were examined using optical microscopy at 50–500x magnification.

The results demonstrate that the mechanical processing enables separation of the fibrous fraction from fiberglass waste, with its proportion in the ground products directly correlated to rotor speed. The optimal rotor speed was determined to be 2400 rpm, yielding the maximum fibrous fraction with the highest proportion of fibers (12–18 mm in length). However, mechanical classification failed to achieve complete separation of fibers and polymer matrix particles. Agglomerates formed during sieving (mesh size: 0.045–0.5 mm) obstructed fiber and particle passage through the sieve surface.

Keywords: fiberglass waste, mechanical recycling, selective grinding, impact-centrifugal mill, classification, fiber, matrix.

Article info: received November 26, 2024.

Введение

В настоящее время, перспективным направлением развития технологии и техники во всем мире и в Республике Беларусь в частности является замена классических конструкционных металлических сплавов на полимерные композиционные материалы (ПКМ) [К.А. Токменинов, 2018]. Наиболее широко распространенным среди ПКМ являются стеклопластики, представляющие собой композит на основе стеклянных армирующих волокон различного типа и полимерного связующего. В качестве связующего при этом используются в основном эпоксидные или полиамидные смолы с отвердителем.

По статистическим данным, объем мирового рынка композиционных материалов из стеклопластика в 2023 году оценивается в 47,61 млрд долларов США, а к концу 2030 года прогнозируется его рост до 79,09 млрд долларов США [М.С. Дориомедов, 2020].

В Республике Беларусь, исходные компоненты для производства изделий из стеклопластика, и собственно стеклопластики производятся на ряде предприятий, объединенных в инновационно-промышленный композитный кластер объединяющий порядка 11 организаций. Крупнейшим предприятием является ОАО «Полоцк-стекловолокно», мощность которого по производству стекловолокна и изделий на его основе составляет порядка 57 тыс. тонн в год.

Серьезной проблемой объемного производства и применения полимерных композиционных материалов, в частности наиболее распространенных стеклопластиков, является их утилизация [Е.Н. Каблов, 2008]. В настоящее время решение проблемы утилизации ПКМ – приоритетная материаловедческая задача, поскольку создание и внедрение новых материалов непременно

приводит к образованию отходов. С учетом специфических свойств ПКМ таких как стойкость к внешним воздействиям окружающей среды, проблема их утилизации носит, прежде всего, экологический характер [К.И. Донецкий, 2014; Ф.С. Власенко, 2013].

Кроме того, государственное законодательство многих стран формирует поведение общества стимулируя темпы переработки отходов и сводя к минимуму использование свалок (полигонов для захоронения твердых отходов). Директива Европейского Союза 2018/850 о захоронении отходов ограничивает количество твердых отходов, вывозимых на полигоны, до 10 % к 2035 г.

Основной путь решения проблемы утилизации ПКМ – это их вторичная переработка. Положительной стороной вторичной переработки является то, что получается дополнительное количество полезных продуктов для различных отраслей промышленности и не происходит загрязнения окружающей среды. По этим причинам вторичная переработка является не только экономически целесообразным, но и экологически предпочтительным решением проблемы утилизации композиционных материалов в условиях современного законодательства [А.В. Петров, 2015; Н.Р. Прокопчук, 2014].

Рассматривая состояние данного вопроса за рубежом, можно утверждать, наибольших успехов в данном вопросе достигли Германия, Великобритания, США, Бельгия, Франция, Дания, которые выполняют переработку ПКМ в промышленных масштабах [S. Katsuji, 2014; A. Kwame, 2017].

Переработка армированных композиционных материалов методом пиролиза находит наибольшее распространение для пластиков, армированных углеродным волокном. Например, с помощью данной технологии, компания CFK Valley Stade Recycling GmbH & Co KG (Герма-

ния) ежегодно перерабатывает около 3500 тонн отходов, тем самым производится около 1000 тонн переработанных волокон. К числу компаний, использующих пиролиз для переработки армированных пластиков можно также отнести Materials Innovation Technologies MIT-RCF (США), Japan Carbon Fiber Manufacturers Association (Япония), Firebird Advanced Materials (США), Formoso Technologies Group (Испания) и т. д. [С. V. Amaech, 2020; S. Job, 2014; G. Oliveux, 2015].

Переработка стеклопластика в основном заключается в механическом измельчении композиционного материала в молотковых мельницах или аналогичных устройствах, с последующей классификацией на фракции. Данная технология используется на многих предприятиях, таких как Filon и Hambleside Danelaw (Британия), Mixt Composites Recyclables (Франция), Reprocover (Бельгия), Eco-Wolf (США), Extreme EcoSolutions (Нидерланды) и т. д. [G. Oliveux, 2015; A. Jacob, 2011; S. J. Pickering, 2006].

Механический метод переработки стеклопластика имеет ряд преимуществ: сравнительная простота технологического оформления, применимость для практически любых полимерных композиционных материалов, одновременная переработка армирующих волокон и полимерного связующего, отсутствие вредных выбросов и испарений. Однако, данный метод не лишен недостатков, основным из которых является снижение качества волокон после переработки.

В связи с вышеизложенным цель работы заключается в изучении фракционного состава продуктов переработки отходов стеклопластика в зависимости от режимов работы измельчителя. В статье рассмотрен перспективный подход в области переработки отходов стеклопластика, позволяющий получать вторичный волокнистый материал.

Методы и средства исследований

Механической переработке подвергались отходы производства стеклопластиковых изделий образующиеся на предприятии ООО «Полоцк-Стекловолокно». Отходы представляли собой куски стеклопластика, состоящие в основном из армирующего компонента в виде хаотически расположенного волокна и связующего на основе полиэфирной смолы Депоп С-180 ПТ (60–63 %). Размер исходных стеклопластиковых отходов составлял $240 \times 90 \times [2-3]$ мм (рисунок 1).

Перед проведением экспериментальных исследований исходный материал подвергался первоначаль-

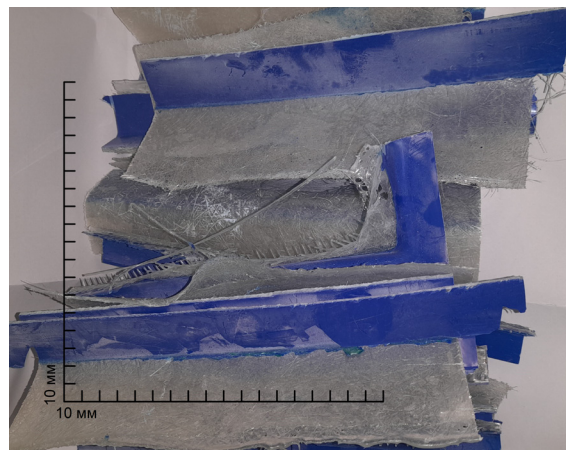


Рисунок 1 – Исходные стеклопластиковые отходы

Figure 1 – Original fiberglass waste

ной ручной резке до более мелких кусков с размерами $30 \times 30 \times [2-3]$ мм, что определялось межлопаточным расстоянием в роторе ударно-центробежной мельницы.

Исследования осуществлялись на разработанной лабораторной экспериментальной установке исследования процесса механической переработки отходов стеклопластика, представленной на рисунке 2.

Экспериментальная установка состоит из питателя 1, ударно-центробежной мельницы 2 [Е. Г. Федарович, 2023], частотного преобразователя 3. Посредством трубопровода 4, к ударно-центробежной мельнице 2 подсоединен циклон 5 с емкостью сбора продуктов измельчения 6. Циклон 5, при помощи трубопровода 7, подсоединен к рукавному фильтру 8 с емкостью сбора пыли 9. Для проведения ситового анализа продуктов измельчения в установке имеется ситовый анализатор 10.

Исследования проводились следующим образом. Исходный материал, в виде кусков стеклопластика с размерами $30 \times 30 \times [2-3]$ мм посредством питателя 1 с постоянным массовым расходом (100 кг/ч) подавался в загрузочный патрубок ударно-центробежной мельницы 2. При помощи частотного преобразователя 3 в ударно-центробежной мельнице 2 задавалась частота вращения рабочего органа мельницы (ротора) n , об/мин: 1200, 1800, 2100, 2400, 2700 и 3000. Далее, полученные продукты измельчения совместно с воздушным потоком направлялись по трубопроводу 4 в циклон 5, где происходило их разделение. Извлеченные из воздушного по-

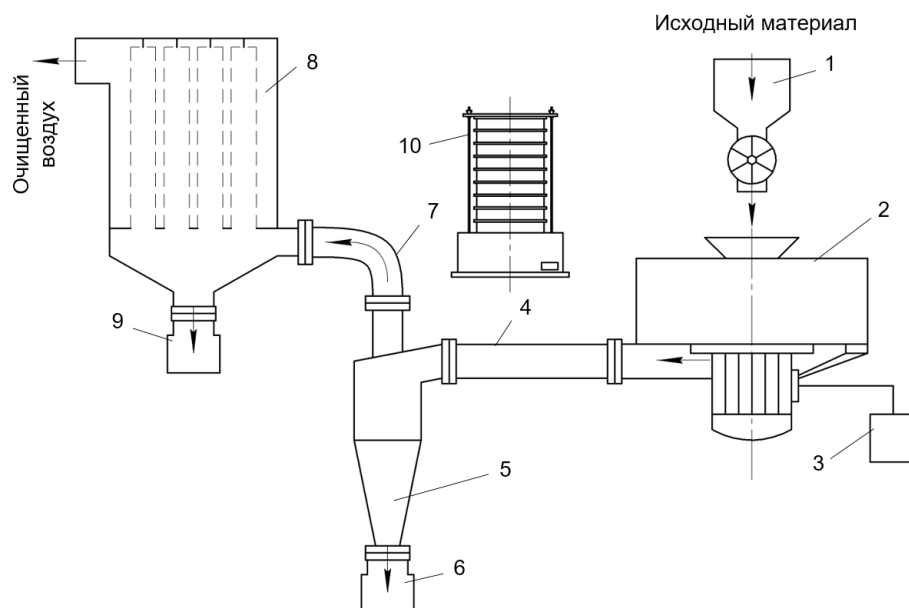


Рисунок 2 – Экспериментальная установка исследования процесса механической переработки отходов стеклопластика:

1 – питатель; 2 – ударно-центробежная мельница; 3 – частотный преобразователь; 4, 7 – трубопроводы; 5 – циклон; 6 – емкость сбора продуктов измельчения; 8 – рукавный фильтр; 9 – емкость сбора пыли; 10 – ситовой анализатор

Figure 2 – Experimental setup for studying the process of mechanical recycling of fiberglass waste:

1 – feeder; 2 – impact-centrifugal mill; 3 – frequency converter; 4, 7 – pipelines; 5 – cyclone; 6 – ground product collection tank; 8 – bag filter; 9 – dust collection tank; 10 – sieve shaker

тока продукты измельчения поступали в емкость 6. Воздушный поток, из циклона 5, по трубопроводу 7 поступал на дополнительную стадию фильтрования в рукавный фильтр 8, после чего выделенные мелкие частицы поступали в емкость 9. Полученные продукты измельчения отходов стеклопластика, из емкостей 6 и 9 с целью распада на фракции, помещали в вибрационный ситовой анализатор 10 марки Retsch AS 200 с комплектом сит, мм: 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063.

Микроструктуру исследуемого материала изучали с использованием микроскопа Микромед МЕТ с увеличением 50–500 крат, в комплекте с видеоокуляром TourCam 5.1 MP.

Результаты исследований

В результате селективного измельчения стеклопластиковых отходов в экспериментальной установке, получен полидисперстный материал, представляющий собой

систему, состоящую из кусков недоизмельченного стеклопластика, пучков стекловолокна, с размером волокон 7–26 мм, измельченной смолы и гелекорта (рисунок 3).

После проведения ситового анализа, полученные продукты условно можно разделить на три составляющие:

- недоизмельченные куски стеклопластика;
- волокнистая фракция;
- мелкодисперсный порошок.

Недоизмельченные куски стеклопластика, впоследствии нуждаются в повторном селективном измельчении. Стоит отметить форму кусков стеклопластика, которая представляет собой эллипс. Представленная форма недоизмельченных стеклопластиковых отходов говорит о том, что основным механизмом разрушения стеклопластика в ударно-центробежной мельнице заключается в постепенном разрушении наружных кромок хруп-

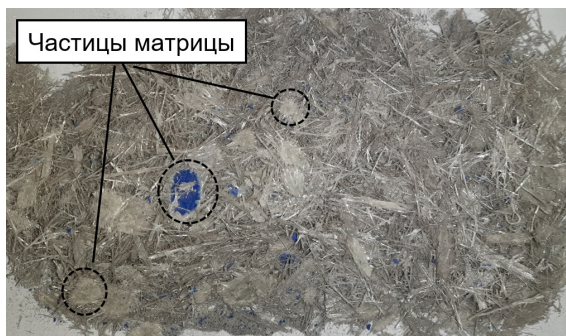


Рисунок 3 – Результат механической обработки отходов стеклопластика при частоте вращения ротора 2100 об/мин

Figure 3 – Result of mechanical recycling of fiberglass waste at a rotor rotational speed of 2100 rpm

кой термореактивной смолы с каждым последующим ударом об отбойную поверхность с высвобождением волокон. При этом, разрушение материала происходит за счет одновременного действия различных механизмов. Во-первых, в момент удара внешних кромок куска стеклопластика об отбойную поверхность мельницы, в материале образуются поля динамических деформаций – растягивающих и сжимающих нагрузок, из-за чего происходит растрескивание материала вдоль волокон по границе раздела фаз, приводящее к их высвобождению. Ввиду того, что материал армирован хаотически расположенными короткими волокнами, растрескивание имеет локальный характер. Даже в случае разрушения волокна, повреждение останется локализованным, так как дальнейшему распространению растрескивания будут сопротивляться волокна, расположенные под различным углом [М.Е. Hossain, 2014; М.В. Жихарев, 2019]. Во-вторых, как известно, волокнистые композиционные материалы весьма чувствительны к усталостному разрушению. За счет воздействия в ударно-центробежной мельнице на стеклопластик многократных ударных нагрузок, в материале, начиная с наружных кромок происходит накопление повреждений, в менее прочном и более хрупком чем волокна связующем. Далее, повреждения, представленные в основном зародышевыми трещинами, сливаются и образуются магистральные трещины, приводящие к локальным расслоениям [А.Г. Иванов, 1991]. При этом, необходимо учитывать, что

исходный подаваемый в мельницу материал уже имеет ряд макроскопических дефектов в местах его предварительного резания до более мелких размеров.

Волокнистая фракция представляет собой остаток на сите 4 мм. Состоит преимущественно из волокон длиной от 5 до 25 мм.

Мелкодисперсный порошок представляет собой фракцию прошедшую через сито 4 мм, состоящую из измельченного стекловолокна, частиц матрицы и геля.

Исследуя влияние частоты вращения рабочего органа ударно-центробежной мельницы на эффективность измельчения стеклопластика, оцениваемую количеством недоизмельченного материала D , %, установлено, что увеличение частоты вращения ротора способствует более полному измельчению отходов стеклопластика. Так, при $n = 1200$ об/мин, количество недоизмельченного материала составляет 40,0 %, при 2100 об/мин – 15,0 %, 3000 об/мин соответственно 1,5 %. Выполнена аппроксимация результатов экспериментов в виде уравнения логарифмической линии. Результаты этой аппроксимации представлены на рисунке 4. Отклонения результатов экспериментов от аппроксимационной зависимости не превышают 11 %.

Уменьшение количества недоизмельченного стеклопластика с увеличением частоты вращения ротора, очевидно связано с ростом кинетической энергии сообщаемой измельчаемому материалу на стадии его разгона.

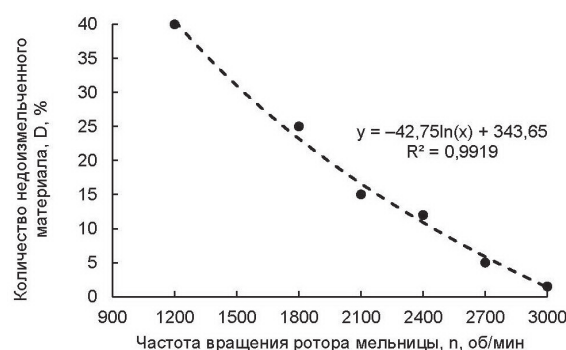


Рисунок 4 – Влияние частоты вращения ротора на количество недоизмельченного материала

Figure 4 – Effect of rotor rotational speed on undersized material content

Наличие у материала высокой кинетической энергии в момент удара приводит к большему образованию дефектных структур в виде растрескивания и микротрещин. Кроме того, увеличивается количество контактов измельчаемого материала с отбойной поверхностью мельницы.

На рисунке 5 представлена зависимость влияния частоты вращения ротора мельницы на количество волокнистой фракции, d , масс. %.

При n равном 1200–2100 об/мин, наблюдается наименьшее количество волокнистой фракции в продуктах селективного измельчения, что связано с большим количеством недоизмельченного материала, как это было показано на рисунке 6, и составило при 1200 об/мин – 2,26 масс. %, при 1800 – 15,7 масс. %, 2100 – 21,54 масс. % соответственно. Получаемая таким образом волокнистая фракция представляет собой преимущественно пучки разнонаправленных и однонаправленных волокон, скрепленных между собой недоизмельченной матрицей (рисунк 6 а, б).

Увеличение частоты вращения рабочего органа мельницы до 2400 об/мин позволяет существенно уве-

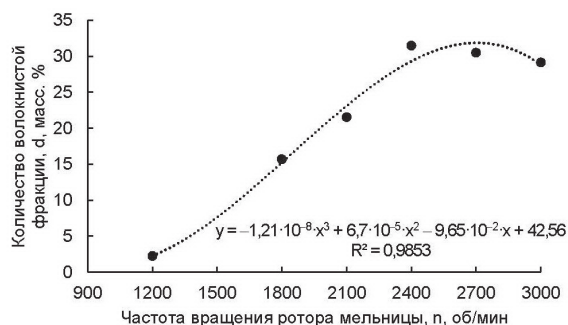
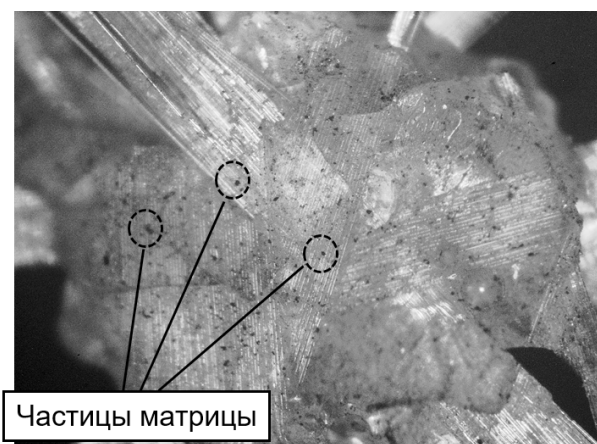
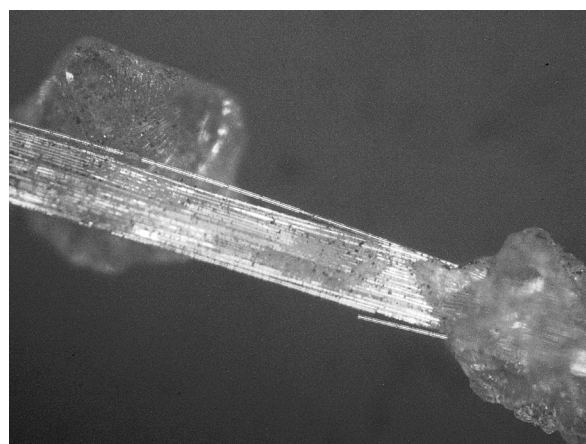


Рисунок 5 – Влияние частоты вращения ротора мельницы на количество волокнистой фракции
Figure 5 – Effect of rotor rotational speed on fibrous fraction yield

личить выход волокнистой фракции при селективном измельчении. Это обусловлено повышением энергии удара стеклопластика об отбойную поверхность в рабочей камере ударно-центробежной мельницы. Энергии удара достаточно для хрупкого разрушения матричного



а



б (b)

Рисунок 6 – Снимки (50 крат.) волокнистой фракции, полученной при $n = 1200$ об/мин:

а – пучок разнонаправленных волокон, скрепленных матрицей;

б – пучок однонаправленных волокон, скрепленных матрицей

Figure 6 – Photos (50x) of fibrous fraction produced at $n = 1200$ rpm:

а – a bundle of multidirectional fibers bonded with polymer matryx;

б – a bundle of unidirectional fibers bonded with polymer matryx

полимера, но не достаточно для разрушения волокна. Следовательно, чем больше энергия удара в мельнице, тем больше выделяется волокон, при условии, что не происходит разрушение волокон

На рисунке 7 а, б представлены снимки волокнистой фракции полученной при частоте вращения ротора мельницы 2400 об/мин.

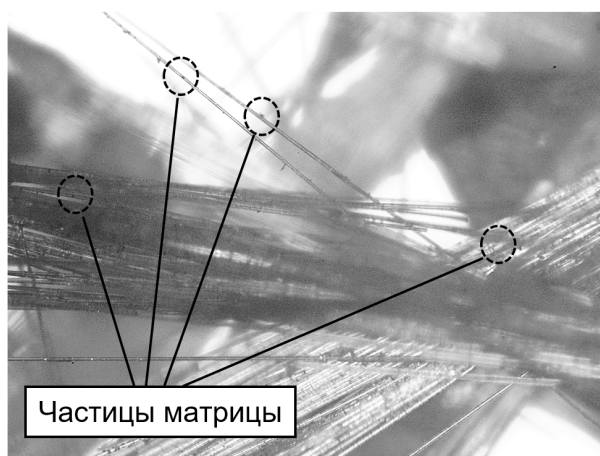
Как видно из представленных снимков, в сравнении с ранее полученным результатами, при $n = 2400$ об/мин в волокнистой фракции наблюдаются отдельные волокна (рисунок 7 а). Присутствующие в меньшем количестве пучки однонаправленных волокон (рисунок 7 б) имеют на поверхности значительно меньшее количество включений матрицы.

Помимо включений матрицы, которые скрепляют волокна в пучки, на самих волокнах также имеются микроскопические частицы матрицы, как это видно на рисунках 6 а и 7 а. Данные включения, при использовании вторичных волокон для производства новых материалов, могут существенно влиять на свойства готовых изделий. С одной стороны, они снижают качество поверхности волокон, что приводит к локальной концентрации напряжений и таким образом к снижению прочности получаемых на их основе изделий. С другой стороны,

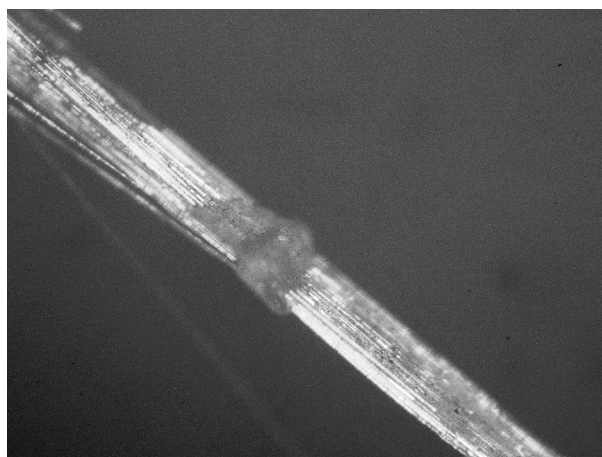
шероховатость поверхности волокон, за счет частиц эпоксидной смолы, может обеспечить дополнительное взаимодействие вторичных волокон с новой матрицей. Например, в работе (A. Rahimizadeh, 2019), направленной на использование вторичных волокон в качестве исходного сырья для получения нитей 3D-печати, наличие частиц эпоксидной смолы на поверхности вторичных волокон позволяет увеличить прочность межфазного взаимодействия между волокнами и матрицей на основе полимера молочной кислоты (ПМК). Изделия на основе вторичного волокна имели прочности на разрыв на 18–19 % выше, чем у образцов, полученных из первичных волокон. Улучшение прочностных свойств образцов объясняется в первую очередь улучшением механического и химического взаимодействия между матрицей и волокном, за счет шероховатости поверхности волокон, а также образованием водородных связей между частицами эпоксидной смолы и ПМК.

Определение длины получаемых волокон осуществляли по методике, описанной в ГОСТ 10213.4. Результаты проведенных исследований определения длины волокон представлены на рисунке 8 в виде гистограмм.

На представленных гистограммах видно, что волокнистый материал имеет широкий полидисперсный



а



б (b)

Рисунок 7 – Снимки (50 крат.) волокнистой фракции, полученной при $n = 2400$ об/мин:
а – волокнистая фракция; б – пучок однонаправленных волокон, скрепленных матрицей

Figure 7 – Photos (50x) of fiberglass produced at $n = 2400$ rpm:

a – fiberglass fraction; b – bundle of unidirectional fibers bonded with polymer matrix

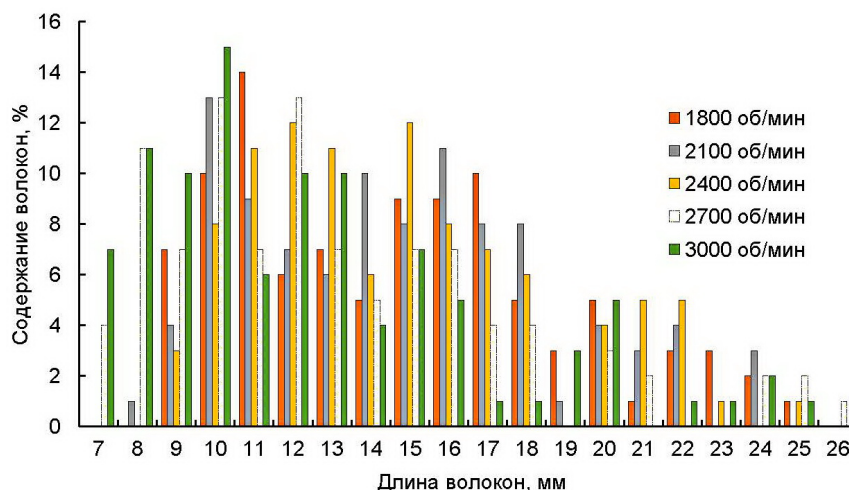


Рисунок 8 – Состав волокнистой фракции в зависимости от длины волокон
Figure 8 – Size distribution of the fibrous fraction by fiber length

состав в зависимости от длины волокна, которая изменяется в диапазоне от 7 до 26 мм. При этом, наиболее часто встречаемыми в продуктах измельчения стеклопластика являются волокна с длиной 8–18 мм. На рисунке 9 представлена аппроксимация выше представленных гистограмм, в полиномиальные зависимости 5 порядка с величиной достоверности аппроксимации 0,65–0,8.

На преобразованных графических зависимостях отчетливо наблюдается увеличения количества более

мелких фракций (до 10 мм) при $n = 2700\text{--}3000$ об/мин, что связано с увеличением энергии удара материала об отбойную поверхность мельницы выше энергии разрушения волокна. При n равной 2400 об/мин наблюдается наибольшее количество более длинных волокон (12–18 мм).

Как известно, длина волокна существенно влияет на его армирующий эффект в композиционном материале. Чем меньше длина дискретного волокна, тем меньше доля эффективно работающего волокна. Поскольку короткое волокно не будет работать в полной мере, армирующий эффект от введения такого волокна будет снижаться. Таким образом, при армировании матрицы волокном армирующий эффект должен быть тем выше, чем больше длина волокон. Следовательно, при использовании волокнистой фракции в качестве армирующего компонента для производства композиционных материалов ее эффективность будет тем выше, чем больше в ней длинных волокон. Согласно некоторым экспериментальным исследованиям, оптимальной длиной стекловолокна, позволяющей обеспечить наилучший армирующий эффект составляет 15–20 мм [С.Н. Колдаева, 2005].

В результате, предпочтительной частотой вращения ротора ударно-центробежной мельницы, для получения волокнистой фракции с наибольшим количеством содержащихся в ней длинных волокон, является 2400 об/мин.

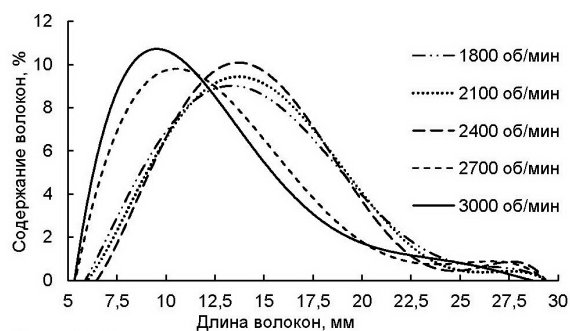


Рисунок 9 – Содержание в волокнистой фракции волокон различной длины
Figure 9 – Proportion of fibers by length category in the fibrous fraction

Необходимо отметить, что в процессе механической классификации волокнистого материала, на сите 4 мм, волокна скрепляются между собой и образуют на поверхности сита сплошной уплотненный «мат», в котором задерживаются частицы полимерной матрицы, тем самым снижая общее количество стекловолна в волокнистой фракции. Также, как это было показано на рисунках 8 и 9, в полученной фракции присутствуют волокна различной длины от 5 до 30 мм.

В процессе классификации продуктов измельчения на ситах с отверстиями меньшего размера, происходит образование «пушистых комков» (рисунок 10), которые содержат в себе мелкие волокна и частицы измельченной полимерной смолы, которые в противном случае были бы классифицированы по последующим ситам с меньшим диаметром отверстий. По мере того, как они накапливаются на поверхности сит, они предотвращают дальнейшее прохождение волокон и частиц через поверхность сита. При увеличении частоты вращения ротора до 2700 и 3000 об/мин наблюдается увеличение их количества на ситах с размером ячейки 0,045–0,5 мм, что подтверждает ранее сделанные выводы об увеличении количества более мелкого измельченного волокна.

На рисунке 11 представлен снимок поверхности образующихся «комков» при механической классификации продуктов селективного измельчения при $n = 2400$ об/мин.

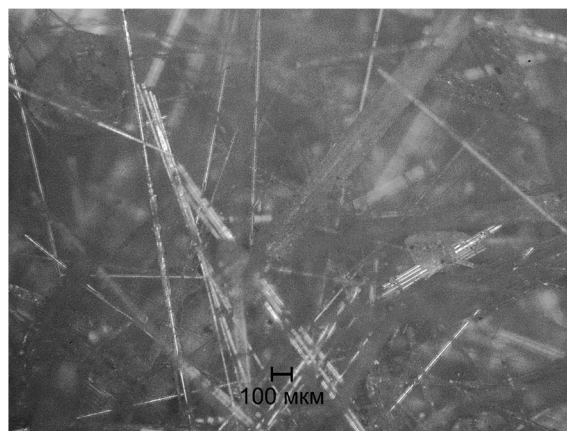
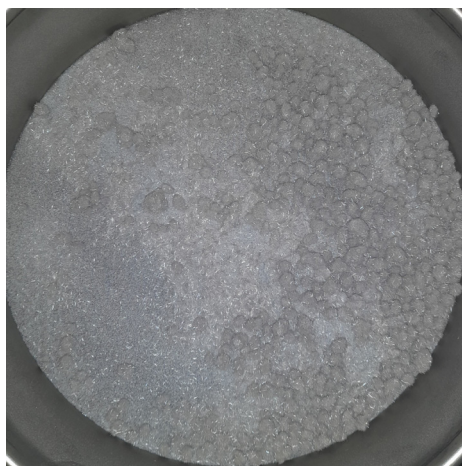
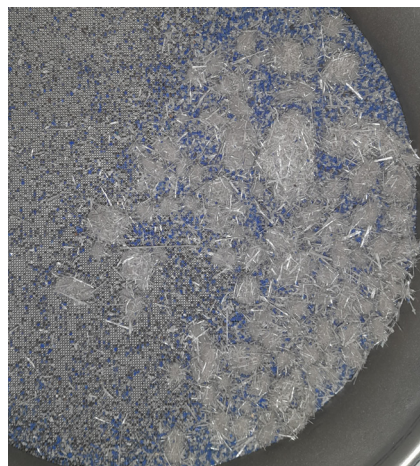


Рисунок 11 – Снимок (100 крат.) поверхности «комков»
Figure 11 – Photo (100x) of the surface morphology of agglomerates



а



б (b)

Рисунок 10 – Образование «пушистых комков» при классификации продуктов измельчения стеклопластика:

а – остаток на сите с размером ячейки 0,063 мм; б – остаток на сите с размером ячейки 0,5 мм

Figure 10 – Formation of “fluffy agglomerates” during mechanical classification of fiberglass ground products:

а – residue on a sieve with a mesh size of 0.063 mm; б – residue on a sieve with a mesh size of 0.5 mm

Как видно из представленного снимка, «комки» представляют собой преимущественно переплетенные между собой хаотичным образом волокна.

Полученные результаты механической классификации согласуются с исследованиями зарубежных авторов в области переработки волокнистых материалов. Так, авторами Jutte, R.B. и W.D. Graham [P. Joakim, 1994; R.B. Jutte, 1991] также отмечается, что форма и характер волокнистого материала не подходит для классификации просеиванием через сито, так как волокна слипаются и образуют «пушистые комки», однако ввиду отсутствия более совершенного оборудования, классификацию вторичных материалов ПКМ до настоящего времени производят на ситах.

В результате, основными дальнейшими целями развития технологии переработки стеклопластиковых отходов будет являться совершенствование способов классификации продуктов селективного измельчения.

Выводы

В результате проведения экспериментальных исследований установлено, что метод механической переработки с использованием ударно-центробежной мельницы позволяет выделить из стеклопластиковых отходов

волокнистую фракцию, которая в перспективе может быть использована в качестве вторичного материала в новых изделиях.

По результатам механической классификации продуктов переработки стеклопластиковых отходов установлено, что частота вращения рабочего органа мельницы является определяющим фактором, влияющим на выход волокнистой фракции и ее состав, в зависимости от длины волокна. Экспериментальным путем определена и обоснована предпочтительная частота вращения ротора – 2400 об/мин, позволяющая получать материал с наибольшим содержанием волокон длиной 12–18 мм и с наименьшим количеством включений матрицы.

Выявлено, что механическая классификация продуктов измельчения стеклопластика имеет ряд недостатков: отсутствие возможности получения волокнистой фракции, содержащую волокна определенной длины, наличие в волокнистой фракции частиц матрицы, образование на поверхности сит «комков». Упомянутые недостатки свидетельствуют о необходимости проведения ряда дополнительных исследований в области определения более эффективного способа классификации волокнистых материалов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Власенко, Ф.С., Раскутин, А.Е. [2013]. Применение полимерных композиционных материалов в строительных конструкциях. *Труды ВИАМ*, № 8, С. 13.
- Донецкий, К.И., Хрульков, А.В. [2014]. Принципы «зеленой химии» в перспективных технологиях изготовления изделий из ПКМ. *Авиационные материалы и технологии*, № 2, С. 24–28. DOI:10.18577/2071-9140-2014-0-s2-24-28.
- Дориомедов, М.С. [2020]. Российский и мировой рынок полимерных композитов [обзор]. *Труды ВИАМ*, № 6, С. 29–37.
- Жихарев, М.В. [2019]. *Оценка прочности высоконагруженных пластин из композитных материалов при локальном ударном воздействии*: дис. канд. тех. наук: 01.02.04, Пермь, 2019, 125 с.
- Иванов, А.Г., Сырунин, М.А. и Лучинин, В.И. [1991]. Ударно-волновое разрушение намоточного стеклопластика в различных направлениях. *Прикладная механика и техническая физика*, № 4, С. 157–161. DOI: 10.1007/BF00851572.
- Каблов, Е.Н. [2008]. Авиакосмическое материаловедение. *Все материалы. Энциклопедический справочник*, № 3, С. 2–14.
- Колдаева, С.Н., Екименко, А.Н. и Колдаев, Ю.Н. [2005]. Повышение механической прочности композитов, армированных рубленными стекловолокном. *Вестник Полоцкого государственного университета*, № 12, С. 41–43.
- Петров, А.В., Дориомедов, М.С. и Скрипачев, С.Ю. [2015]. Технологии утилизации полимерных композиционных материалов [обзор]. *Труды ВИАМ*, № 8, С. 62–73.
- Прокопчук, Н.Р., Долинская, Р.М. [2014]. Рециклинг полимерных отходов. *Тенденции интеграции образования, науки и бизнеса*. Минск, С. 41–43.
- Токменинов, К.А. [2018]. Перспективы освоения полимерных композиционных материалов в Республике Беларусь. *Вестник Белорусского-Российского университета*, № 2, С. 65–72.

Федарович, Е.Г., Левданский, А.Э. [2023]. Селективное измельчение стеклонаполненных пластиков. *Материалы докладов 56-й международной научно-технической конференции преподавателей и студентов УО «ВГТУ»*, Т 1, С. 499–502.

Amaechi, C.V., Agbomerie, C.O., Sotayo, A., Wang, F., Hou, X., Ye, J. and Job, S. [2020]. Recycling of Renewable Composite Materials in the Offshore Industry. *Encyclopedia of Renew-able and Sustainable Materials; Elsevier BV*. № 2, pp. 583–613. DOI:10.1016/B978-0-12-803581-8.11445-6.

Hossain, M.E., Hossain, M.K., Hosur, M. and Jeelani, S. [2014]. Low-velocity impact behavior of CNF-filled glass-reinforced polyester composites. *Journal of Composite Materials*. № 48, pp. 879–896. DOI: 10.1177/0021998313480194.

Jacob, A. [2011]. Composites can be recycled. *Reinforced Plastics*. № 55, pp. 45–46. DOI:10.1016/S0034-3617(11)70079-0.

Joakim, P., Peter, N. [1994]. Recycling of SMC and BMC in Standard Process Equipment. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. № 7, pp. 56–63. DOI: 10.1177/089270579400700105.

Job, S. [2014]. Recycling composites commercially. *Reinforced Plastics*. № 58, pp. 32–38. DOI:10.1016/S0034-3617(14)70213-9.

Jutte, R.B., Graham, W.D. [1991]. Recycling SMC. *Proceedings 46th Annual Conference, Composite Institute, Society of the Plastic Industry*. p. 6.

Katsuji, S., Mitsutoshi, N. [2014]. CFRP Recycling technology using depolymerization under ordinary pressure. *Hitachi Chemical Technical Report*. № 56. pp. 6–11.

Kwame, A., Esther, A. [2017]. Recycling of Fibre Reinforced Composites: A Review of Current Technologies. *DII-2017*. p. 12.

Oliveux, G., Dandy, L.O., Leeke, G.A. [2015]. Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. *Progress in Materials Science*. № 72, pp. 61–99. DOI:10.1016/j.pmatsci.2015.01.00.

Pickering, S.J. [2006]. Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*. № 37, pp. 1206–1215. DOI:10.1016/j.compositesa.2005.05.030.

Rahimizadeh, A., Kalman, J., Henri, R., Fayazbakhsh, K. and Lessard, L. [2019]. Recycled Glass Fiber Composites from Wind Turbine Waste for 3D Printing Feedstock: Effects of Fiber Content and Interface on Mechanical Performance. *Materials*. № 12, p. 18. DOI: 10.3390/ma12233929.

REFERENCES

Vlasenko, F.S., Raskutin, A.E. [2013]. Application of polymer composite materials in building structures [Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov v stroitel'nykh konstrukciyakh], *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*, № 8, p. 13 [In Russian].

Doneckij, K.I., Hrulkov, A.V. [2014]. Principles of «green chemistry» in perspective manufacturing technologies of PCM articles [Principy «zelenoj himii» v perspektivnykh tehnologiyah izgotovleniya izdelij iz PKM], *Aviacionnye materialy i tehnologii = Aviation Materials and Technologies*, № 2, pp. 24–28. DOI:10.18577/2071-9140-2014-0-s2-24-28 [In Russian].

Doriomedov, M.S. [2020]. Russian and world market of polymer composites (review) [Rossijskij i mirovoj rynek polimernykh kompozitov (obzor)], *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*, № 6, pp. 29–37 [In Russian].

Zhikharev, M.V. [2019]. *Ocenka prochnosti vysokonagruzennykh plastin iz kompozitnykh materialov pri lokal'nom udarnom vozdejstvii* [Evaluation of the strength of highly loaded composite plates under local impact action], dis. kand. tekhn. nauk: 01.02.04, Permian, 2019, 125 p. [In Russian].

Ivanov, A.G., Syrunin, M.A. and Luchinin, V.I. [1991]. Shock-wave failure of a wound glass-fiber-reinforced plastic in different directions [Udarno-volnovoe razrushenie namotochnogo stekloplastika v razlichnykh napravleniyakh], *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika = Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, № 4, pp. 157–161. DOI: 10.1007/BF00851572 [In Russian].

Kablov, E.N. [2008]. Aerospace Materials Science [Aviakosmicheskoe materialovedenie], *Vse materialy. Enciklopedicheskij spravocnik = All materials. Encyclopedic reference book*, № 3, pp. 2–14 [In Russian].

Koldaeva, S.N., Ekimenko, A.N. and Koldaev, Yu.N. [2005]. Increasing the mechanical strength of composites reinforced with chopped glass fiber [Povyshenie mekhanicheskoy prochnosti kompozitov, armirovannyh rublennym steklovoloknom], *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Polotsk State University*, № 12. pp. 41–43 [In Russian].

Petrov, A.V., Doriomedov, M.S. and Skripachev, S.Yu. [2015]. Technologies for recycling polymer composite materials [review] [Tekhnologii utilizatsii polimernyh kompozitsionnykh materialov (obzor)], *Trudy VIAM = Proceedings of VIAM*, № 8, pp. 62–73 [In Russian].

Prokopchuk, N.R., Dolinskaya, R.M. [2014]. Recycling of polymer waste [Recikling polimernyh othodov], *Tendencii integratsii obrazovaniya, nauki i biznesa = Trends in the integration of education, science and business*, Minsk, p. 41–43 [In Russian].

Tokmeninov, K.A. [2018]. Prospects for the development of polymer composite materials in the Republic of Belarus [Perspektivy osvoeniya polimernyh kompozitsionnykh materialov v Respublike Belarus], *Vestnik Belorusskogo-Rossiyskogo universiteta = Bulletin of the Belarusian-Russian University*, № 2, pp. 65–72 [In Russian].

Fedarovich, E.G., Levanski, A.E. [2023]. Selective grinding of glass-filled plastics [Selektivnoe izmel'chenie steklonapolnennykh plastikov], *Materialy dokladov 56-j mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavatelej i studentov UO «VGTU» = Materials of reports of the 56th international scientific and technical conference of teachers and students of the educational institution "VSTU"*, vol. 1, pp. 499–502 [In Russian].

Amaechi, C.V., Agbomerie, C.O., Sotayo, A., Wang, F., Hou, X., Ye, J. and Job, S. [2020]. Recycling of Renewable Composite Materials in the Offshore Industry. *Encyclopedia of Renew-able and Sustainable Materials; Elsevier BV*. № 2, pp. 583–613. DOI:10.1016/B978-0-12-803581-8.11445-6.

Hossain, M.E., Hossain, M.K., Hosur, M. and Jeelani, S. [2014]. Low-velocity impact behavior of CNF-filled glass-reinforced polyester composites. *Journal of Composite Materials*. № 48, pp. 879–896. DOI: 10.1177/0021998313480194.

Jacob, A. [2011]. Composites can be recycled. *Reinforced Plastics*. № 55, pp. 45–46. DOI:10.1016/S0034-3617(11)70079-0.

Joakim, P., Peter N. [1994]. Recycling of SMC and BMC in Standard Process Equipment. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. № 7, pp. 56–63. DOI: 10.1177/089270579400700105.

Job, S. [2014]. Recycling composites commercially. *Reinforced Plastics*. № 58, pp. 32–38. DOI:10.1016/S0034-3617(14)70213-9.

Jutte, R.B., Graham, W.D. [1991]. Recycling SMC. *Proceedings 46th Annual Conference, Composite Institute, Society of the Plastic Industry*. p. 6.

Katsuji, S., Mitsutoshi, N. [2014]. CFRP Recycling technology using depolymerization under ordinary pressure. *Hitachi Chemical Technical Report*. № 56. pp. 6–11.

Kwame, A., Esther A. [2017]. Recycling of Fibre Reinforced Composites: A Review of Current Technologies. DII-2017. p.12.

Oliveux, G., Dandy, L.O. and Leeke, G.A. [2015]. Current status of recycling of fibre reinforced polymers: Review of technologies, reuse and resulting properties. *Progress in Materials Science*. № 72, pp. 61–99. DOI:10.1016/j.pmatsci.2015.01.00.

Pickering, S.J. [2006]. Recycling technologies for thermoset composite materials—current status. *Composites Part A Applied Science and Manufacturing*. № 37, pp. 1206–1215. DOI:10.1016/j.compositesa.2005.05.030.

Rahimizadeh, A., Kalman, J., Henri, R., Fayazbakhsh, K. and Lessard, L. [2019]. Recycled Glass Fiber Composites from Wind Turbine Waste for 3D Printing Feedstock: Effects of Fiber Content and Interface on Mechanical Performance. *Materials*. № 12, p. 18. DOI: 10.3390/ma12233929.

Информация об авторах

Information about the authors

Федарович Евгений Геннадьевич

Аспирант кафедры процессов и аппаратов химических производств, Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: zhenya.fedorovich.1999@mail.ru

Левданский Александр Эдуардович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой процессов и аппаратов химических производств, Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: alex_levdansky@mail.ru

Ковалева Анастасия Александровна

Младший научный сотрудник кафедры процессов и аппаратов химических производств, Белорусский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: nastya.covaleva1969@mail.ru

Evgeniy G. Fedarovich

Postgraduate Student of the Department "Processes and Apparatuses of Chemical Production", Belarusian State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: zhenya.fedorovich.1999@mail.ru

Alexander E. Levanski

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department "Processes and Apparatus for Chemical Production", Belarusian State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: alex_levdansky@mail.ru

Anastasiya A. Kovaleva

Junior Research Fellow of the Department "Processes and Apparatuses of Chemical Production", Belarusian State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: nastya.covaleva1969@mail.ru

Влияние кислотного сомономера на свойства полиакрилонитрильных волокон, получаемых по диметилформамидному способу

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

Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

Аннотация. С целью анализа влияния природы кислотного сомономера (КМ) на свойства полиакрилонитрильных волокон синтезированы модельные волокнообразующие терсополимеры (ВТП) на основе акрилонитрила (АН) и метилакрилата (МА) с применением таких КМ как 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота (АМПС) и итаконовая кислота (ИтК) при варьировании их содержания в исходной реакционной смеси от 0 до 2,0 % ([масс.] от массы сомономеров). Отмечено, что массовая доля КМ в первичной структуре поли[АН-со-МА-со-АМПС], синтезируемого в гидротропном растворителе, оказывается выше, чем его содержание в исходной реакционной смеси, в то время как при синтезе поли[АН-со-МА-со-ИтК] отмечается обратная тенденция.

На основе синтезированных модельных поли[АН-со-МА-со-КМ] сформованы модельные образцы полиакрилонитрильных волокон и в идентичных условиях изучены их свойства. Исследование структурно-морфологических свойств показало, что замена АМПС на ИтК в ВТП приводит к существенному повышению однородности структуры волокон, получаемых по диметилформамидному методу.

Количество красителя, сорбированного волокнами в сухом состоянии, определяется, в основном, содержанием кислотных групп в ВТП и практически не зависит от природы КМ.

Исходя из совокупности полученных результатов сделан вывод о том, что оптимальное содержание АМПС в структуре ВТП, предназначенных для их переработки в волокна текстильного назначения, может находиться в диапазоне от 1,0 до 1,7 % (масс.), а при использовании ИтК – в диапазоне от 0,7 до 1,5 % (масс.). При этом замена АМПС на ИтК способствует большей интенсивности окрашивания гель-волокон катионными красителями.

Ключевые слова: сополимер, акрилонитрил, метилакрилат, 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота, итаконовая кислота, волокно, свойства, крашение.

Информация о статье: поступила 20 сентября 2024 года.

The influence of acidic comonomer on the properties of polyacrylonitrile fibers produced by the dimethylformamide method

Natallia V. Pchalova, Leonid A. Shcherbina,
Iryna A. Budkute, Iryna S. Kozlovskaya

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

Abstract. In order to analyze the influence of the nature of the acid comonomer (AM) on the properties of polyacrylonitrile fibers, model fiber-forming tercopolymers (FFT) based on acrylonitrile (AN) and methyl acrylate (MA) were synthesized using such AM as 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) and itaconic acid (ItA) with their content in the initial reaction mixture varying from 0 to 2.0 % ([mass] of the comonomers mass). It is noted that the mass fraction of AM in the primary structure of poly[AN-co-MA-co-AMPS], synthesized in a hydrotropic solvent, is higher than its content in the initial reaction mixture, while the opposite trend is observed during the synthesis of poly[AN-co-MA-co-ItA].

Model samples of polyacrylonitrile fibers were formed on the basis of synthesized model poly[AN-co-MA-co-AM] and their properties were studied under identical conditions. The study of the structural and morphological properties showed that the replacement of AMPS with ItA in the FFT leads to a significant increase in the homogeneity of the structure of fibers obtained by the dimethylformamide method.

The amount of dye sorbed by fibers in the dry state is determined mainly by the content of acid groups in the FFT and is practically independent of the nature of the AM.

Based on the totality of the obtained results, it was concluded that the optimal content of AMPS in the structure of the FFT intended for their processing into fibers of textile purposes can be in the range from 1.0 to 1.7 % (mass), and when using ItA – in the range from 0.7 to 1.5 % (mass). At the same time, the replacement of AMPS with ItA contributes to a greater intensity of dyeing of gel fibers with cationic dyes.

Keywords: copolymer, acrylonitrile, methyl acrylate, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, itaconic acid, fiber, properties, dyeability.

Article info: received September 20, 2024.

Введение

Разнообразие видов полиакрилонитрильных (ПАН) волокон обусловлено возможностью варьирования композиционного состава волокнообразующих терсополимеров (ВТП). Использование различных сложноэфирных сомономеров [в количестве 3–15 % (масс.)], кислотных сомономеров [в количестве 1–2 % (масс.)] позволяет в достаточно широких пределах изменять свойства получаемых ПАН волокон, что, в свою очередь, обуславливает возможность их использования для изготовления материалов как текстильного, так и технического назначения [Ahn, H. et al., 2021; Skvortsov, I.Yu. et al., 2023; He, Z. et al., 2020; Ahn, H., Yeo, S.Y. and Lee, B.-S., 2021; Nunna, S. et al., 2019].

В Республике Беларусь имеется многолетний опыт промышленного производства волокнистых материалов текстильного назначения по диметилформамидному методу на основе сополимера акрилонитрила (АН), метилакрилата (МА) и 2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты (АМПС). Однако первичная структура данного ВТП менее пригодна для выпуска, например, прекурсоров волокнистых материалов конструкционного назначения. Поэтому определенный интерес представляет изучение аспектов получения волокнистых материалов на основе сополимера АН, МА и итаконовой кислоты (ИтК) с использованием диметилформамида (ДМФ) в качестве растворителя. Это позволит расширить ассортимент волокон, выпускаемых по диметилформамидному методу на имеющихся в стране технологических линиях, материалами как текстильного, так и специального назначения.

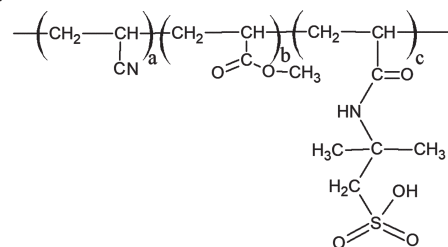
Анализ имеющейся в открытых источниках научно-технической информации не позволил обнаружить сведений, достаточных для организации технологического процесса производства волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] по диметилформамидному методу. В Республике Беларусь ранее существовало производство волокна на основе этого ВТП, но по

водно-роданидному способу. Поскольку, как известно, растворитель оказывает влияние на надмолекулярную структуру филаментов и, следовательно, на особенности их крашения, то определенный интерес представляет изучение влияния ДМФ на свойства волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК]. Кроме того, отсутствует ответ на вопрос об оптимальном содержании ИтК в сополимере для обеспечения крашиваемости ПАН волокон текстильного назначения или для оптимального протекания процесса превращения ПАН прекурсоров в углеродные волокна.

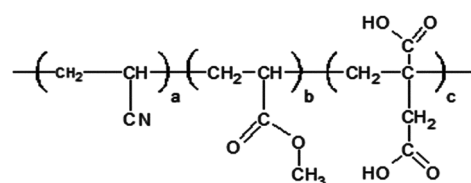
Поэтому целью данной работы явилось исследование и сравнительный анализ влияния замены АМПС на ИтК в первичной структуре ВТП АН, МА и КМ на свойства волокон, получаемых по диметилформамидному способу.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования явились сформованные по диметилформамидному способу в лабораторных условиях модельные волокна на основе синтезированных образцов поли[АН-со-МА-со-АМПС] и поли[АН-со-МА-со-ИтК]. Первичная структура таких ВТП представлена ниже:



поли[АН-со-МА-со-АМПС]



поли[АН-со-МА-со-ИтК]

Предмет исследования – свойства полиакрилонитрильных волокон, полученных из сополимеров различного композиционного состава.

Методики исследований

Модельные образцы ВТП разного композиционного состава были синтезированы с использованием стендовой лабораторной установки в соответствии с методикой, описанной ранее [Щербина, Л.А., 2020]. В ходе синтезов варьировали количество КМ (АМПС или ИтК) от 0 до 2,0 % (от массы мономеров в реакционной смеси) за счет изменения доли МА. В результате были получены образцы сополимеров, обозначенные в работе как:

- поли[АН (91)–со–МА (9)];
- поли[АН (91)–со–МА (8,5)–со–КМ(0,5)];
- поли[АН (91)–со–МА (8,3)–со–КМ(0,7)];
- поли[АН (91)–со–МА (8,1)–со–КМ(0,9)];
- поли[АН (91)–со–МА (8,0)–со–КМ(1,0)];
- поли[АН (91)–со–МА (7,8)–со–КМ(1,2)];
- поли[АН (91)–со–МА (7,5)–со–КМ(1,5)];
- поли[АН (91)–со–МА (7,0)–со–КМ(2,0)].

Для оценки взаимосвязи содержания КМ в исходной реакционной смеси (РС) и его фактического содержания в синтезированных ВТП определяли содержание КМ в модельных образцах поли[АН–со–МА–со–АМПС] и поли[АН–со–МА–со–ИтК] методом, представленным ранее [Щербина, Л.А., 2020].

Формование модельных образцов ПАН волокон из гомогенизированных и обезвоздушенных прядильных растворов осуществляли «мокрым» методом как в работе [Пчелова, Н.В. и др., 2020] с использованием лабораторной стендовой установки 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, А.С. и др., 1982] и последующего его определения по методу Кьельдаля.

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.

Для имитации крашения волокон поверхностным способом в производственных условиях полученные гель-волокна хранили в дистиллированной воде. Крашение гель-волокон проводили красителем метиленовым голубым (МГ) в соответствии с методикой, приведенной в [Щербина, Л.А., 2002]. Определение количества связанного 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).

Для характеристики грифа окрашенных волокон, полученных на основе модельных ВТП с различным содержанием КМ, использовали показатель «жесткости»,

Таблица 1 – Условия формования модельных ПАН волокон

Table 1 – Conditions for forming model PAN fibers

Растворитель	ДМФ
Содержание ВТП в прядильном растворе, %	11,8 ± 0,5
Концентрация растворителя в осадительной ванне, %	55 ± 1
Температура осадительной ванны, °С	15 ± 1
Температура пластификационной ванны, °С	95,5 ± 0,5
Количество отверстий в фильере, шт.	120
Пластификационная ванна	вода
Кратность пластификационного вытягивания	5

который оценивали в баллах на основе тактильных ощущений десяти экспертов. При этом каждому из образцов выставлялась условная (субъективная) оценка жесткости его грифа от 1 балла (самый мягкий гриф) до 10 баллов (самый жесткий гриф).

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, Н.В. и др., 2020), как среднее не менее, чем 10 измерений.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Определение фактического содержания КМ в синтезированных модельных ВТП (рисунок 1) показало, что содержание АМПС в поли[АН-со-МА-со-АМПС], в целом, выше, по сравнению с его содержанием в исходной РС. Это, вероятно, объясняется более высокой относительной реакционной способностью АМПС в процессах ее сополимеризации с АН и МА.

В случае использования ИтК в качестве КМ обсуждаемая зависимость носит противоположный характер: доля ИтК в первичной структуре поли[АН-со-МА-со-ИтК] ниже, чем ее содержание в исходной РС. Это может быть вызвано более низкой относительной реакцион-

ной способностью ИтК в процессах ее сополимеризации с АН и МА.

В таблице 2 представлены микрофотографии продольного вида модельных волокон в гель-состоянии (до сушки) и поперечного среза волокон после сушки.

Исследование волокон на основе бисополимера АН и МА показало, что при формировании филаментов в осадительной ванне, представляющей собой 55 % водный раствор ДМФ, они имеют искаженную бобовидную форму поперечного среза. Поверхность таких волокон отличается значительной шероховатостью, дефектами, переходящими по-видимому, во внутренние крупные поры, локализованные, главным образом, у поверхности волокон. Волокна, характеризующиеся такой достаточно грубой и высокопористой структурой, недопустимы при производстве волокон как текстильного, так и специального назначения.

При формировании из растворов ВТП, синтезированных при содержании АМПС в РС от 0 до 1,0 % (масс.), образуются филаменты с неоднородной структурой, которая проявляется не только в наличии крупных пустот, но и в непрозрачности структуры, которая объясняется присутствием в филаментах большого количества пор различного размера, рассеивающих видимый свет. Из растворов ВТП, синтезированных при содержании АМПС в реакционной смеси 1,2 % (масс.), формируются оптически прозрачные волокна с достаточно крупными порами, однако структура этих волокон более однородна, чем волокон из ВТП с меньшим содержанием АМПС.

Анализ полученных результатов показал, что увеличение доли АМПС в сополимере до 1,5–2,0 % (масс.) приводит к образованию более однородной структуры волокон, однако при повышенном содержании АМПС на выходе из отверстий фильеры образуются склейки. При содержании в сополимере 1,5–2,0 % (масс.) ИтК в ходе нитеобразования также наблюдалось большое количество склеек, что является браком и делает волокна непригодными для дальнейшей текстильной переработки. В случае варьирования содержания ИтК в сополимерах в пределах от 0,5 до 1,2 % (масс.) были сформированы волокна со структурой, обеспечивающей их пригодность для производства текстильных материалов.

Также следует отметить, что при формировании волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] образуются филаменты с классической бобовидной формой поперечного среза. С повышением содержания ИтК от 0,5 до 1,2 % (масс.) «боб» постепенно «разворачивается». При этом

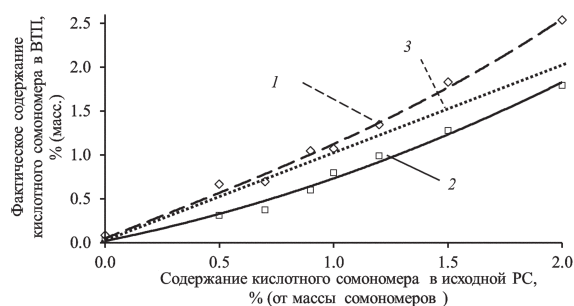


Рисунок 1 – Зависимость содержания КМ в ВТП от его содержания в исходной реакционной смеси при синтезе: 1 – поли[АН-со-МА-со-АМПС];

2 – поли[АН-со-МА-со-ИтК];

3 – линия теоретического ожидания

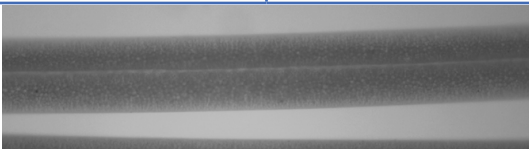
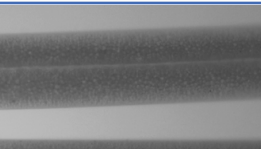
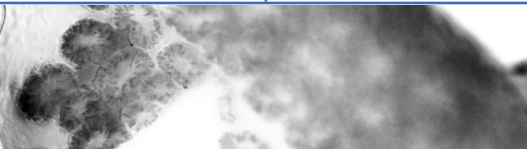
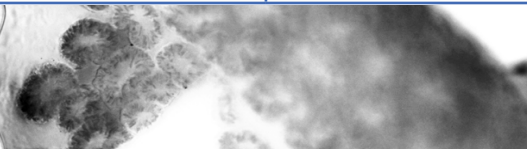
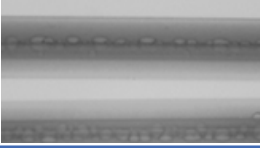
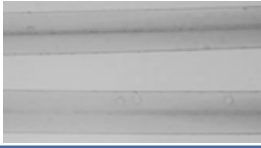
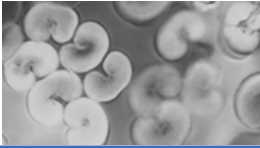
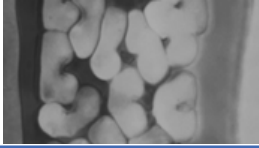
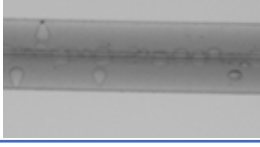
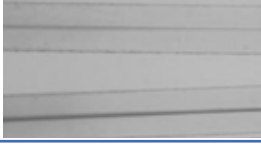
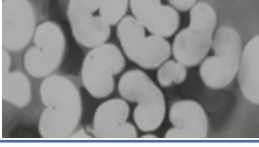
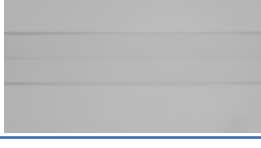
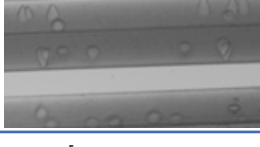
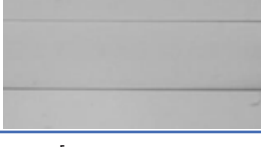
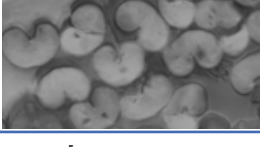
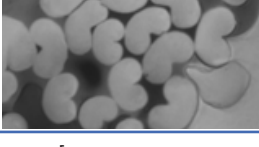
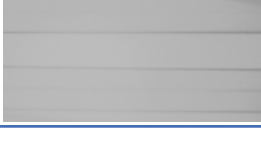
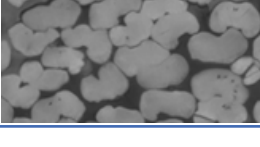
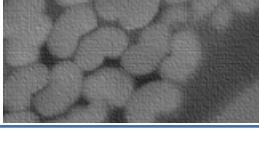
Figure 1 – Dependence of the content of AM in the FFT on its content in the initial reaction mixture during synthesis: 1 – poly[AN-co-MA-co-AMPS];

2 – poly[AN-co-MA-co-ItA];

3 – theoretical expectation line

Таблица 2 – Микрофотографии продольного вида ПАН гель-волокон и поперечного среза волокон, высушенных при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$

Table 2 – Micrographs of the longitudinal view of PAN gel fibers and the cross-section of fibers dried at a temperature of $20 \pm 5^\circ\text{C}$

$S_{\text{KM}}, \%$	Продольный вид гель-волокон** (до стадии пластификационного вытягивания)		Поперечные срезы волокон** (микрофотоирование в глицерине)	
0	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,09)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,03)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,09)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,03)]
				
0,5	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,67)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,31)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,67)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,31)]
				
0,7	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,71)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,37)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,71)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,37)]
				
0,9	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,01)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,60)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,01)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,60)]
	-		-	
1,0	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,96)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,79)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(0,96)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(0,79)]
				
1,2	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,34)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,00)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,34)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,00)]
				

Окончание таблицы 2 – Микрофотографии продольного вида ПАН гель-волокон и поперечного среза волокон, высушенных при температуре $20 \pm 5^\circ\text{C}$

End of Table 2 – Micrographs of the longitudinal view of PAN gel fibers and the cross-section of fibers dried at a temperature of $20 \pm 5^\circ\text{C}$

1,5	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,83)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,28)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(1,83)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,28)]
		-		-
2,0	поли[АН-со-МА-со-АМПС(2,54)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,79)]	поли[АН-со-МА-со-АМПС(2,54)]	поли[АН-со-МА-со-ИтК(1,79)]
		-		

Примечание: * C_{KM} – содержание КМ (АМПС, ИтК) в РС при синтезе поли[АН-со-МА-со-КМ], % (от массы мономеров); ** – в обозначениях поли[АН-со-МА-со-АМПС] и поли[АН-со-МА-со-ИтК] приведено содержание КМ в ВТП.

формирование волокон с округлой формой поперечного среза наблюдается при повышении содержания ИтК до 2,0 % (масс.).

В целом, характерным следствием замены АМПС на ИтК является полное отсутствие крупных пор и других пустот в волокнах, формируемых с использованием в качестве осадительной ванны 55 %-ого водного раствора ДМФ. Видимая в оптический микроскоп «оболочка» наблюдается, главным образом, на поперечных срезах волокон, полученных из поли[АН-со-МА-со-ИтК] с минимальным содержанием КМ.

Результаты изучения влияния химической природы и содержания КМ в ВТП на количество связанного гель-волокнами красителя метиленового голубого (МГ) представлены на рисунке 2.

Из данных, представленных на рисунке 2, следует, что количество красителя МГ, сорбированного гель-волокнами, сформированными по диметилформамидному методу, однозначно определяется содержанием и природой кислотных групп в ВТП. При этом фактические значения оказались меньше теоретически ожидаемых, которые были рассчитаны, исходя из установленного содержания КМ в ВТП. Также можно отметить, что при одинаковой массовой доле КМ в поли[АН-со-МА-со-АМПС] и поли[АН-со-МА-со-ИтК] количество красителя,

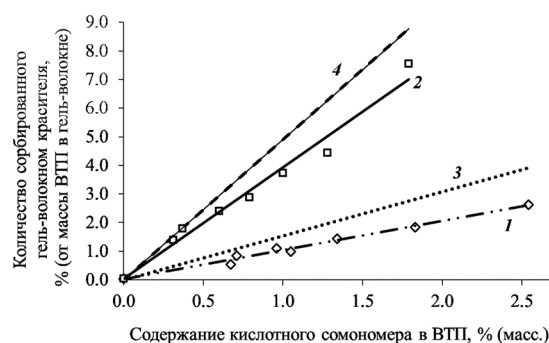


Рисунок 2 – Зависимость количества красителя, сорбированного гель-волокном, от содержания КМ в ВТП: 1, 3 – поли[АН-со-МА-со-АМПС];

2, 4 – поли[АН-со-МА-со-ИтК]; 1, 2 – фактическое и 3, 4 – теоретически ожидаемое

Figure 2 – Dependence of the amount of dye sorbed by the gel fiber on the content of AM in the FFT:

1, 3 – poly[AN-co-MA-co-AMPS];
2, 4 – poly[AN-co-MA-co-ItA]; 1, 2 – actual and 3, 4 – theoretically expected

сорбированного поли[АН-со-МА-со-ИтК], оказалось значительно больше. Это можно объяснить тем, что одна молекула ИтК имеет две кислотных группы, а также тем, что ее молярная масса эквивалента, составляющая 65 г/моль, значительно меньше молярной массы эквивалента одноосновной АМПС (207 г/моль). Поэтому, при одинаковом массовом содержании КМ в обоих исследованных ВТП, количество кислотных групп в поли[АН-со-МА-со-ИтК] не менее, чем в три раза больше по сравнению с поли[АН-со-МА-со-АМПС]. Это позволяет прогнозировать достижение более «глубоких» (насыщенных) тонов окрашенных волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК].

Результаты оценки индекса светлоты модельных волокон после окрашивания в гель-состоянии, проиллюстрированные на рисунке 3, подтверждают это предположение.

Из данных, представленных на рисунке 4, следует, что с увеличением содержания звеньев КМ в синтезированных ВТП снижается индекс светлоты окрашенных модельных волокон на их основе. Наиболее активное снижение индекса светлоты можно отметить при повышении содержания КМ от 0 до 0,7 % (масс.) в поли[АН-со-МА-со-АМПС] и от 0 до 0,4 % (масс.) в поли[АН-со-МА-со-ИтК]. Дальнейшее увеличение содержания КМ в

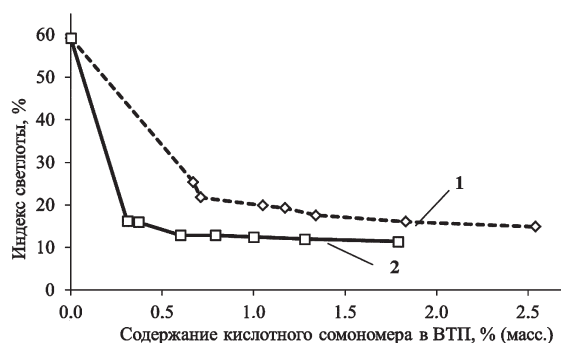


Рисунок 3 – Зависимость индекса светлоты (белизны) окрашенных ПАН волокон от содержания КМ в ВТП: 1 – поли[АН-со-МА-со-АМПС]; 2 – поли[АН-со-МА-со-ИтК]

Figure 3 – Dependence of the lightness index (whiteness) of dyed PAN fibers on the content of AM in the FFT: 1 – poly[АН-со-МА-со-AMPS]; 2 – poly[АН-со-МА-со-ItA]

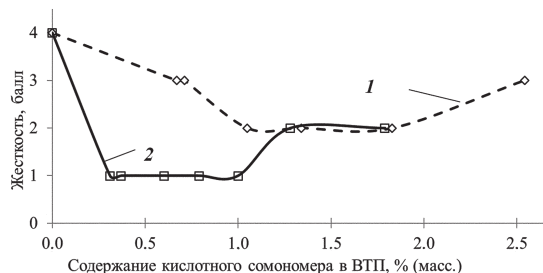


Рисунок 4 – Влияние природы и содержания КМ в ВТП на гриф волокон, окрашенных в гель-состоянии: 1 – поли[АН-со-МА-со-АМПС]; 2 – поли[АН-со-МА-со-ИтК]

Figure 4 – Effect of the nature and content of AM in the FFT on the fiber profile of fibers dyed in the gel state: 1 – poly[АН-со-МА-со-AMPS]; 2 – poly[АН-со-МА-со-ItA]

ВТП обуславливает менее заметное уменьшение индекса светлоты: до значения примерно 15,0 % (в случае использования АМПС) и до 11,5 % (в случае использования ИтК).

В процессе проведения экспериментов было обращено внимание на то, что окрашенные в гель-состоянии волокнистые материалы, в зависимости от количества КМ в структуре ВТП, имели различный гриф. Об этом свидетельствуют данные, представленные на рисунке 4.

Установлено, что волокно на основе поли[АН-со-МА] характеризуется максимальной жесткостью. Введение КМ в ВТП приводит к уменьшению жесткости формируемых на их основе волокон, причем, в более кардинальной форме это проявляется в случае использования поли[АН-со-МА-со-ИтК]. Однако оцениваемый показатель возрастает для волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК [1,3÷1,8]] и поли[АН-со-МА-со-АМПС [2,5]]. Причиной этого может быть повышенная способность надмолекулярной структуры ориентированных волокон, содержащих большое количество КМ, к релаксации в процессе сушки в свободном состоянии при температуре 105 °С, проводимой после крашения.

Были проведены эксперименты по изучению влияния содержания КМ в ВТП на крашиваемость волокон на их основе в сухом состоянии. Результаты изучения влияния химической природы и содержания КМ в ВТП на количество связанного красителя предварительно

высушенным волокном и индекс светлоты окрашенных волокон представлены на рисунке 5.

Из данных, представленных на рисунке 5, следует, что, во-первых, количество красителя, сорбированного волокнами в сухом состоянии, определяется, в основном, содержанием КМ в ВТП и практически не зависит от природы КМ, во-вторых, при увеличении содержания КМ в ВТП количество сорбированного красителя увеличивается, в то время как индекс светлоты уменьшается.

Выводы

Результаты проведенной работы позволяют установить влияние природы КМ, используемого при синтезе ВТП на основе АН, МА и КМ на свойства получаемых полиакрилонитрильных волокон.

Отмечено, что фактическое содержание АМПС в поли[АН-со-МА-со-АМПС] выше, чем в мономерной реакционной смеси (РС), что может быть объяснено большей относительной реакционной способностью этого мономера в реакциях свободно-радикальной сополимеризации с АН и МА. В случае использования ИтК в качестве КМ ее доля в первичной структуре поли[АН-со-МА-со-ИтК] ниже, чем содержание ИтК в исходной РС. Это

может быть обусловлено более низкой относительной реакционной способностью ИтК в процессах ее сополимеризации с АН и МА.

Замена АМПС на ИтК в полимерной основе существенно повышает однородность структуры волокон, получаемых по диметилформамидному методу на основе сополимера АН, МА и КМ. В отличие от волокон на основе поли[АН-со-МА-со-АМПС], волокна на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] не имеют видимых пор (пустот) на поперечном срезе.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что при получении ПАН волокон текстильного назначения по диметилформамидному методу содержание КМ в ВТП на основе АН, МА и АМПС может находиться в диапазоне от 1,0 до 1,7 % (масс.), а при использовании в качестве ИтК – в диапазоне от 0,7 до 1,5 % (масс.). Эти значения содержания КМ в ВТП обеспечивают высокую интенсивность окраски ПАН волокон. При содержании АМПС в ВТП свыше 1,0 % (масс.) и ИтК свыше 0,7 % (масс.) колебания доли КМ в ВТП незначительно сказываются как на индексе светлоты, так и на визуально оцениваемой интенсивности окрашивания

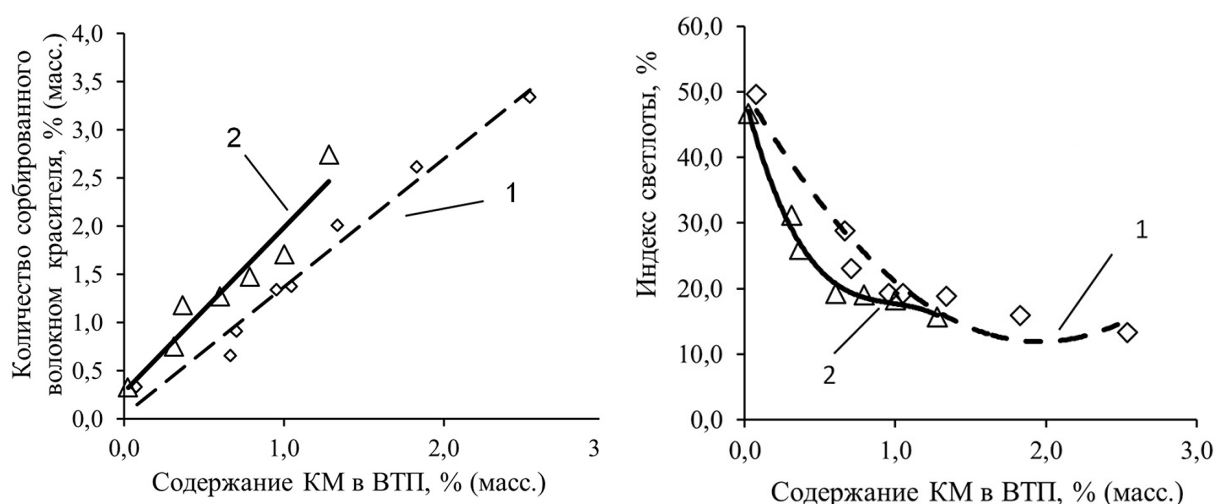


Рисунок 5 – Зависимость количества красителя, сорбированного сухим волокном, и индекса светлоты окрашенных волокон от содержания КМ в ВТП:

1 – поли[АН-со-МА-со-АМПС]; 2 – поли[АН-со-МА-со-ИтК]

Figure 5 – Dependence of the amount of dye sorbed by dry fiber and the lightness index of dyed fibers on the content of AM in the FFT:

1 – poly[АН-со-МА-со-AMPS]; 2 – poly[АН-со-МА-со-ItA]

ПАН волокон. Поэтому, если при получении ПАН волокна целью является достижение его интенсивной окраски, то достаточно обеспечить содержание АМПС в ВТП на уровне 1,0 % (масс.), ИтК – на уровне 0,7 % (масс.).

Исследование окрашиваемости ПАН волокон в сухом состоянии показало, что при повышении содержания количества КМ в ВТП количество сорбированного красителя увеличивается, степень светлоты уменьшается во всем исследованном диапазоне содержания КМ в ВТП. При этом данные показатели процесса крашения практически не зависят от природы КМ.

Исходя из имеющейся информации можно прогнозировать, что присутствие в поли[АН-со-МА-со-ИтК] от 1,0 до 1,75 % (масс.) КМ будет обеспечивать возможность

использования ПАН волокон на основе данных ВТП в качестве прекурсоров углеродных волокнистых материалов.

Таким образом, в работе показана принципиальная возможность организации процесса получения ПАН волокон на основе поли[АН-со-МА-со-ИтК] по диметилформамидному методу. Полученные результаты указывают на существенное влияние содержания и природы КМ, используемых при синтезе ВТП, на структурно-морфологические, органолептические свойства (гриф) и окрашиваемость ПАН волокон.

Работа выполнена при поддержке завода «Полимир» ОАО «Нафтан», г. Новополоцк, Республика Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Пчелова, Н.В., Щербина, Л.А., Городнякова, И.С. и Будкуте, И.А. [2020]. Исследование влияния условий формирования 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.

Чеголи, А.С., Кваша, Н.М. [1982]. *Аналитический контроль производства синтетических волокон*. Москва: Справочное пособие, Российская Федерация.

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.

Ahn, H., Yeo, S.Y. and Lee, B.-S. [2021]. Designing Materials and Processes for Strong Polyacrylonitrile Precursor Fibers, *Polymers*, № 13, pp. 2863–2882. doi: 10.3390/polym13172863.

Ahn, H., Wee, J.-H., Min Kim, Y., Yu, W.-R. and Yeo, S.-Y. [2021]. Microstructure and Mechanical Properties of Polyacrylonitrile Precursor Fiber with Dry and Wet Drawing Process, *Polymers*, № 13, pp. 1613–1625. doi: org/10.3390/polym13101613.

Chen, J., Ge, H.-Y., Dong, X.-G. and Wang, C.-G. [2007]. The formation of polyacrylonitrile nascent fibers in wet-spinning process, *Journal of Applied Polymer Science, J. of Appl. Polym. Sci.*, № 106 (1), pp. 692–696. doi: 10.1002/app.26700.

He, Z., Li, Y., Xiao, Z., Jiang, H., Zhou, Y. and Luo, D. [2020]. Synthesis and Preparation of (Acrylic Copolymer) Ternary System Peelable Sealing Decontamination Material, *Polymers*, № 12, pp. 1556–1573. doi:10.3390/polym12071556.

Hou, C., Liang, Y. and Wang, C.-G. [2005]. Determination of the Diffusion Coefficient of H₂O in Polyacrylonitrile Fiber Formation, *Journal of Polymer Research*, Vol. 12, pp. 49–52. doi: 10.1007/s10965-004-1729-6.

Kaur, J., Millington, K. and Smith, S. [2016]. Producing high-quality precursor polymer and fibers to achieve theoretical strength in carbon fibers: A review, *J. Appl. Polym. Sci.*, № 133 (38), pp. 102–116. doi: 10.1002/APP.43963.

Komarov, P., Malyshev, M., Baburkin, P. and Guseva, D. [2023]. Mesoscale Simulations of Structure Formation in Polyacrylonitrile Nascent Fibers Induced by Binary Solvent Mixture, *Int. J. Mol. Sci.*, № 24 (11), pp. 9312–9329. doi: org/10.3390/ijms24119312.

Malkin, A.Y., Semakov, A.V., Skvortsov, I.Y., Zatonskikh, P., Kulichikhin, V.G., Subbotin, A.V. and Semenov, A.N. [2017]. Spinnability of Dilute Polymer Solutions, *Macromolecules*, № 50 (20), p. 8231–8244. doi: 10.1021/acs.macromol.7b00687.

Nunna, S., Blanchard, P., Buckmaster, D., Davis, S. and Naebe, M. [2019]. Development of a cost model for the production of carbon fibres, *Heliyon*, № 5, pp. 45–56. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02698.

Skvortsov, I.Yu., Kuzin, M.S., Vashchenko, A.F., Toms, R.V., Varfolomeeva, L.A., Chernikova, E.V., Shambilova, G.K. and Kulichikhin, V.G. (2023). Fiber Spinning of Polyacrylonitrile Terpolymers Containing Acrylic Acid and Alkyl Acrylates, *Fibers*, № 11, pp. 65–81. doi: 10.3390/fib11070065.

Wang, Yu, Tong, Yu., Zhang, B., Su, H. and Xu, L. (2018). Formation of Surface Morphology in Polyacrylonitrile (PAN) Fibers during Wet-Spinning, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 13, Iss. 2, pp. 52–57.

REFERENCES

Pchelova, N.V., Shcherbina, L.A., Gorodnyakova, I.S. and Budkute, I.A. (2020). Study of the influence of molding conditions on the dyeability of gel fibers from copolymers of acrylonitrile, methyl acrylate and itaconic acid [Issledovanie vliyaniya usloviy formovaniya na nakrashivaemost' gel'-volokon iz sopolimerov akrilonitrila, metilakrilata i itakonovoj kisloty], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, № 2 (39), P. 118–129. doi: org/10.24411/2079-7958-2020-13912 (In Russian).

Chegoli, A.S., Kvasha, N.M. (1982). *Analiticheskij kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon* [Analytical control of synthetic fiber production]. Moscow: Spravochnoe posobie, Russian Federation (In Russian).

Shcherbina, L.A. (2002). *Razrabotka i vnedrenie sinteza voloknoobrazuyushchego tersopolimera akrilonitrila v gidrotropnom rastvoritele*, dis. kand. tekhn. nauk: 05.17.06, Minsk, 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-metilpropansulfokisloty], *Himicheskie volokna = The chemical fibers*, № 6, pp. 24–29 (In Russian).

Ahn, H., Yeo, S.Y. and Lee, B.-S. (2021). Designing Materials and Processes for Strong Polyacrylonitrile Precursor Fibers, *Polymers*, № 13, pp. 2863–2882. doi: 10.3390/polym13172863.

Ahn, H., Wee, J.-H., Min Kim, Y., Yu, W.-R. and Yeo, S.-Y. (2021). Microstructure and Mechanical Properties of Polyacrylonitrile Precursor Fiber with Dry and Wet Drawing Process, *Polymers*, № 13, pp. 1613–1625. doi: org/10.3390/polym13101613.

Chen, J., Ge, H.-Y., Dong, X.-G. and Wang, C.-G. (2007). The formation of polyacrylonitrile nascent fibers in wet-spinning process, *Journal of Applied Polymer Science, J. of Appl. Polym. Sci.*, № 106 (1), pp. 692–696. doi: 10.1002/app.26700.

He, Z., Li, Y., Xiao, Z., Jiang, H., Zhou, Y. and Luo, D. (2020). Synthesis and Preparation of (Acrylic Copolymer) Ternary System Peelable Sealing Decontamination Material, *Polymers*, № 12, pp. 1556–1573. doi: 10.3390/polym12071556.

Hou, C., Liang, Y. and Wang, C.-G. (2005). Determination of the Diffusion Coefficient of H₂O in Polyacrylonitrile Fiber Formation, *Journal of Polymer Research*, Vol. 12, pp. 49–52. doi: 10.1007/s10965-004-1729-6.

Kaur, J., Millington, K. and Smith, S. (2016). Producing high-quality precursor polymer and fibers to achieve theoretical strength in carbon fibers: A review, *J. Appl. Polym. Sci.*, № 133 (38), pp. 102–116. doi: 10.1002/APP43963.

Komarov, P., Malyshev, M., Baburkin, P. and Guseva, D. (2023). Mesoscale Simulations of Structure Formation in Polyacrylonitrile Nascent Fibers Induced by Binary Solvent Mixture, *Int. J. Mol. Sci.*, № 24 (11), pp. 9312–9329. doi: org/10.3390/ijms24119312.

Malkin, A.Y., Semakov, A.V., Skvortsov, I.Y., Zatonskikh, P., Kulichikhin, V.G., Subbotin, A.V. and Semenov, A.N. (2017). Spinnability of Dilute Polymer Solutions, *Macromolecules*, № 50 (20), p. 8231–8244. doi: 10.1021/acs.macromol.7b00687.

Nunna, S., Blanchard, P., Buckmaster, D., Davis, S. and Naebe, M. (2019). Development of a cost model for the production of carbon fibres, *Heliyon*, № 5, pp. 45–56. doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02698.

Skvortsov, I.Yu., Kuzin, M.S., Vashchenko, A.F., Toms, R.V., Varfolomeeva, L.A., Chernikova, E.V., Shambilova, G.K. and Kulichikhin, V.G. (2023). Fiber Spinning of Polyacrylonitrile Terpolymers Containing Acrylic Acid and Alkyl Acrylates, *Fibers*, № 11, pp. 65–81. doi: 10.3390/fib11070065.

Wang, Yu, Tong, Yu., Zhang, B., Su, H. and Xu, L. (2018). Formation of Surface Morphology in Polyacrylonitrile (PAN) Fibers during Wet-Spinning, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, Vol. 13, Iss. 2, pp. 52–57.

Пчелова Наталья Владимировна

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

E-mail: htvms@tut.by

Щербина Леонид Александрович

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

Будкute Ирина Александровна

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

Козловская Ирина Сергеевна

Старший преподаватель 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.

E-mail: htvms@tut.by

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.

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.

Iryna S. Kozlovskaya

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

Гидрофобизация полиэфирных тканей с использованием теломеров тетрафторэтилена**Н. П. Пророкова¹,****Т. Ю. Кумеева¹,****Д. П. Кирюхин²**¹Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук,²Федеральный исследовательский центр проблем химической физики

и медицинской химии Российской академии наук,

Российская Федерация

Аннотация. Рассмотрен вопрос придания текстильным тканым материалам гидрофобных свойств. Показано, что гидрофобные свойства не ограничиваются высоким краевым углом смачивания материала. Свойства гидрофобности определяются в том числе низкими значениями водопоглощения модифицированного материала. Для достижения такого результата необходимо получать на поверхности текстильного материала тонкие покрытия, обладающие низкой поверхностной энергией и непрерывностью. Собственная дополнительная шероховатость модифицирующего покрытия позволяет получать высокие краевые углы смачивания. Фторсодержащие полимеры, как известно, имеют достаточно низкие значения поверхностной энергии, и именно это свойство обуславливает значительный интерес к подобным соединениям для использования в качестве модификаторов-гидрофобизаторов. Целью данного исследования было получение устойчивых гидрофобных покрытий на полиэфирной ткани с использованием растворов теломеров тетрафторэтилена. Исследованы покрытия на основе тетрафторэтилена, а именно, ряда теломеров тетрафторэтилена, на полиэфирной ткани. Методами ИК спектроскопии (МНПВО), электронной микроскопией, атомной силовой микроскопией показано, что теломеры тетрафторэтилена формируют упорядоченные ультратонкие фторполимерные покрытия на поверхности каждой элементарной нити, образующей ткань. Визуализированы особенности покрытия на основе теломеров в зависимости от типа используемого телогена. Методом атомной силовой микроскопии определена жесткость получаемых покрытий. На основании проведенных испытаний покрытий к устойчивости выявлены особенности гидрофобизирующих покрытий на основе теломеров тетрафторэтилена в зависимости от химической природы телогена. Проведена сравнительная характеристика полученных гидрофобных материалов.

Ключевые слова: гидрофобность, водоотталкивающие свойства, теломеры тетрафторэтилена, фторполимерное покрытие, водопоглощение.

Информация о статье: поступила 09 сентября 2024 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI-2024)», которая состоялась 20–21 ноября 2024 года в учреждении образования «Витебский государственный технологический университет» (Республика Беларусь).

Hydrophobization of polyester fabrics using tetrafluoroethylene telomers**Natalia P. Prorokova¹,****Tatyana Yu. Kumeeva¹,****Dmitriy P. Kiruchin²**¹G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences,²Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences,

Russian Federation

Abstract. The issue of imparting hydrophobic properties to textile woven materials is considered. It is shown that hydrophobic properties are not limited to a high contact angle of the material. The hydrophobic properties are determined, among other things, by low values of water absorption of the modified material. To achieve this result, it is necessary to obtain thin, continuous coatings exhibiting low surface energy on the surface of the textile material. The intrinsic additional roughness of the modifying coating enables the attainment of high contact angles of wetting. Fluorine-containing polymers are known to have fairly low values of surface energy, and it is this property that determines significant interest in such compounds for use as modifiers-water repellents. The aim of this study was to obtain stable hydrophobic coatings on polyester fabric using

solutions of tetrafluoroethylene telomers. Coatings based on tetrafluoroethylene, namely, a number of tetrafluoroethylene telomers, on polyester fabric were studied. IR spectroscopy (MULTI-FRET), electron microscopy, and atomic force microscopy have shown that tetrafluoroethylene telomers form ordered ultrathin fluoropolymer coatings on the surface of each elementary thread that forms the fabric. The features of the telomer-based coating are visualized depending on the type of telogen used. The rigidity of the resulting coatings is determined by atomic force microscopy. Based on the tests of the coatings for resistance, the features of hydrophobic coatings based on tetrafluoroethylene telomers are revealed depending on the chemical nature of telogen. A comparative analysis of the obtained hydrophobic materials is carried out.

Keywords: hydrophobicity, water-repellent properties, tetrafluoroethylene telomers, fluoropolymer coating, water absorption.

Article info: received September 09, 2024.

The article summarizes the research materials presented at the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation" (ICTAI-2024), held on November 20–21, 2024 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus).

Введение

Гидрофобный текстиль на мировом потребительском рынке пользуется устойчивым спросом. К текстилю с такими свойствами относятся материалы с водоотталкивающими и водоупорными свойствами. Водоотталкивающая отделка предусматривает придание текстильным материалам способности не смачиваться водой, сохраняя при этом воздухо- и паропроницаемость. В результате водоупорной отделки вода не проникает с лица на изнанку текстильного материала, при этом воздухо- и паропроницаемость он утрачивает. Материалы с водоупорными свойствами имеют довольно узкое техническое применение – для тентов, парусины, укрытия буртов, верха грузового автотранспорта и т. п. Значительно шире в технике и быту используются «дышащие» гидрофобные ткани, т. е. ткани с водоотталкивающей отделкой. Гидрофобными считаются ткани, у которых краевой угол смачивания (Θ) превышает 90° . Кроме того, в настоящее время четко обозначился интерес потребителей и производителей к материалам и покрытиям с очень высокой гидрофобностью (ультрагидрофобные – $\Theta > 120^\circ$ и супергидрофобные $\Theta > 150^\circ$).

Такие материалы должны обладать как можно более низкой поверхностной энергией и многомодальной шероховатостью [Бойнович и Емельяненко, 2008; Park S., Kim & Park C.H., 2015; Li et al., 2017; Jeevahan et al., 2018], благодаря которой смачивание поверхности будет протекать по гетерогенному механизму. Понижение поверхностной энергии возможно с помощью изменения химического состава поверхности, что можно осуществить при нанесении на поверхность покрытия, состоящего из вещества с более низкой поверхностной энергией (гидрофобизатора). Многомодальная шероховатость обыч-

но достигается за счет текстурирования поверхности материала.

В отношении многомодальной поверхности ткань занимает среди других материалов особое место. Как известно, ткани образованы переплетением нитей, имеющих цилиндрическую форму. Таким образом, поверхность ткани состоит из множества выпуклых элементов. В работе [Boinovich & Emelyanenko, 2011] установлено, что цилиндрические поверхности характеризуются более высоким краевым углом смачивания, чем плоские. Кроме того, авторы [Ramaratnam et al., 2008; Gao & McCarthy, 2008] доказали, что ткань, благодаря её сложному, образованному переплетенными нитями строению, можно считать готовой структурой с многомодальной шероховатостью. Указанные факторы благоприятствуют достижению гидрофобности ткани.

Главным требованием к гидрофобизатору является его низкая поверхностная энергия. Наиболее низкой поверхностной энергией характеризуются покрытия на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ), однако формирование их на ткани до сих пор являлось технологически неосуществимым. Несколько более высокой, чем у ПТФЭ, поверхностной энергией обладают другие фторсодержащие соединения [Petrie, 2007; Козуб, Редина, Эльманович и Денисов, 2023; Калдыбаева, Набиева, Елдияр и Нуркулов, 2022]. Ранее в промышленности для гидрофобизации тканей наиболее широко применялись производные перфтороктановой кислоты. Однако было установлено, что такие соединения могут быть потенциально канцерогенными [Armitage, MacLeod & Cousins 2009]. В связи с этим были введены ограничения на их использование. Но известно большое количество других фторсодержащих препаратов, которые можно использо-

вать в качестве гидрофобизаторов для ткани. Например, в работах (Xue et al., 2013; Schondelmaier et al., 2002) для формирования покрытий с высокой гидрофобностью применяются препараты на основе фторалкилсиланов, в работах (Oner & McCarthy, 2000; Minko, S. et al., 2003) – препараты на основе политетрафторэтилена. Однако все эти гидрофобизаторы наносятся на ткань, в основном, из эмульсий или дисперсий. Соответственно на ткани происходит формирование толстых неравномерных покрытий с большим количеством дефектов. Хотя после обработки текстильный материал характеризуется высокими краевыми углами смачивания, достигнутый эффект является метастабильным, т. к. ткани не удается придать низкое водопоглощение.

В то же время требования, предъявляемые к потребительским свойствам готовой ткани, значительно усложняют решение проблемы придания ей водоотталкивающих свойств. В частности, как уже указывалось, нужно, чтобы ткань после гидрофобизации сохраняла способность «дышать», которая характеризуется высокими значениями воздухо- и паропроницаемости. Следовательно, покрытие, сформированное гидрофобизатором, должно быть нанесено только на поверхность нитей, не занимая пространство между ними. После гидрофобизации ткань должна сохранять драпируемость и не быть слишком жесткой. Это диктует дополнительные требования к жесткости покрытия на основе гидрофобизатора, которая характеризует его пластические свойства (Пророкова, Кумеева, Новиков и Холодков, 2018). Обязательным условием является также устойчивость достигнутого эффекта к интенсивным эксплуатационным воздействиям – трению, стиркам, химическим чисткам, т. е. адгезия покрытия к волокнистому материалу должна быть высокой. Кроме того, в работах (Пророкова, Кумеева, Новиков и Холодков, 2018; Halimatul et al., 2019; Ilyas et al., 2019; Prorokova, N.P. et al., 2020) показано, что важнейшей характеристикой гидрофобности ткани является низкое водопоглощение – способность образца поглощать жидкость при полном погружении его в воду в течение часа. Очевидно, что для придания волокнистому материалу низкого водопоглощения нанесенное на него покрытие не должно иметь дефектов, через которые может проникнуть вода. Следовательно, можно констатировать, что для сохранения высоких эксплуатационных характеристик ткани при её водоотталкивающей отделке нужно нанести на поверхность каждой нити умеренно жесткое покрытие на основе гидрофобизатора, облада-

ющее высокой адгезией к волокну.

Целью данного исследования было получение устойчивых гидрофобных покрытий на полиэфирной ткани с использованием растворов теломеров тетрафторэтилена.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовалась полиэфирная (ПЭФ) ткань полотняного переплетения поверхностной плотностью 180 ± 10 г/м² и числом нитей 216 ± 4 на 10 см по основе и 203 ± 4 на 10 см по утку. В некоторых экспериментах использовалась ПЭФ пленка толщиной 15 мкм поверхностной плотностью $19,5 \pm 0,1$ г/м².

В качестве гидрофобизаторов применялись теломеры тетрафторэтилена (ТФЭ), синтезированные с использованием радиационного инициирования из фторомономеров в ряде органических растворителей (ФИЦ проблем химической физики Российской академии наук, Россия). Для настоящей работы были выбраны теломеры ТФЭ, синтезированные в ацетоне (ТФЭ/АЦ), бутилхлориде (ТФЭ/БХ), триметилхлорсилане (ТФЭ/ТМХС). Их синтез и свойства описаны в работах (Бузник, 2017; Пророкова и др., 2010; Кумеева, Пророкова и Кичигина, 2015).

Для обработки образцов ПЭФ ткани использовались растворы теломеров ТФЭ/АЦ, ТФЭ/БХ, разбавленные ацетоном, и ТФЭ/ТМХС, разбавленные этилацетатом до концентрации 2 %. Образцы ПЭФ ткани погружались в раствор теломеров, время пропитки составляло ~ 10 сек. Пропитка тканей проводилась многократно (до 3-х раз). После каждой пропитки образцы ткани подвергались сушке при $T = 20-25$ °С в течение 24 часов для удаления растворителя. После сушки образцов осуществлялась термообработка при $T = 150$ °С в течение 1 мин. В результате были получены образцы с одно-, двух-, и трехслойным покрытием из теломеров.

ИК спектры регистрировались на спектрометре типа Avatar ESP 360 (фирма Nicolett) методом многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) с использованием кристалла селенида цинка с 12-кратным отражением в диапазоне от 700 до 1500 см⁻¹.

Краевой угол смачивания водой измерялся методом Оуэнса-Вендта. Водопоглощение тканей определялся в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) как количество воды, удерживаемой образцом ткани после полного погружения его в жидкость в течение одного часа. Проводилось по 10 параллельных измерений.

Текстура волокнистого материала и морфологию покрытия исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа «VEGA 3 SBH» (TESCAN) и атомно-силового микроскопа «Solver P 47-PRO» (NT-MDT).

Устойчивость эффекта гидрофобности к истирающим воздействиям оценивали по изменению величины краевого угла смачивания ПЭФ ткани с теломерным покрытием после 50-кратного истирающего воздействия с использованием специального прибора оценки устойчивости окраски к трению ПТ-4, 1 стирки и 100 циклов химической чистки перхлорэтиленом. Методика испытания подробно описана в [Бяльский и Карпов, 1971].

Жесткость покрытий оценивали методом силовой спектроскопии с помощью атомно-силового сканирующего зондового микроскопа Solver-47Pro («NT MTD», Российская Федерация). Метод основан на измерении величины отклонения (степени изгиба) кантилевера в процессе подъема и опускания образца. Методика подробно описана в работах [Prorokova, Kumeeva & Kholodkov, 2020; Пророкова, Кумеева, Новиков и Холодков, 2018]. Величину адгезии определяли по закону Гука на основании известного значения коэффициента жесткости используемого зонда (3,5 Н/м) при отведении его от поверхности. Относительную жесткость характеризовали относительной величиной изгиба кантилевера в процессе приближения зонда к поверхности. Погрешность определения этих характеристик составляет ~ 5 %.

Экспериментальные исследования и анализ результатов

Несмотря на то, что само полиэфирное (ПЭФ) волокно, полученное из полиэтилентерефталата, является гидрофобным, ткани, выработанные из него, и характеризующиеся сложной капиллярно-пористой структурой, не обладают свойствами водоотталкивания: капли жидкости, попавшие на них, быстро впитываются в межволоконные пространства. Нанесение растворов теломеров ТФЭ на ПЭФ материал проводили аэрозольным способом или погружением образца в раствор с последующим испарением растворителя и при термообработке ткани (150 °C). После удаления растворителя происходит образование фторсодержащего покрытия.

Факт осаждения покрытия на поверхности волокнистого материала подтвержден методом ИК-спектроскопии (МНПВО). Соответствующие ИК спектры в диапазоне 700–1500 см⁻¹ представлены на рисунке 1.

Наиболее интенсивные полосы в спектре политетрафторэтилена (ПТФЭ) регистрируются в области

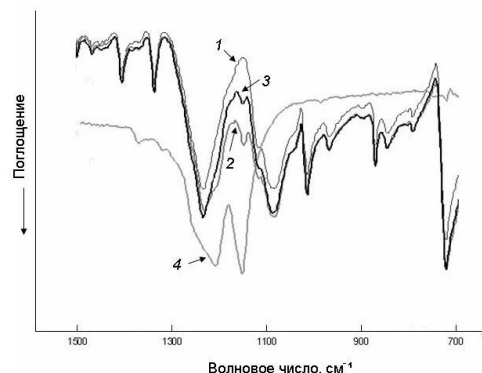


Рисунок 1 – ИК спектры (МНПВО):

1 – исходная ПЭФ ткань; 2 – ткань, обработанная ТФЭ/АЦ; 3 – ткань, обработанная ТФЭ/БХ;

4 – политетрафторэтилен

Figure 1 – IR spectra (ATR):

1 – original PE fabric; 2 – fabric treated with TFE/AC;

3 – fabric treated with TFE/BX;

4 – polytetrafluoroethylene

1153 см⁻¹ и 1208 см⁻¹, они относятся к валентным колебаниям –CF₂– групп [Олейник, 1976]. В спектрах обработанной ткани (2, 3) появляются аналогичные полосы в отличие от спектров исходной (1), что отображает образование на поверхности ткани фторсодержащего покрытия.

На рисунке 2 представлено изображение ПЭФ ткани с покрытием, нанесенным из раствора ТФЭ/БХ, аналогичный вид имеют образцы тканей, обработанных ТФЭ/АЦ и ТФЭ/ТМХС.

Межниточные пространства в ткани остаются свободными, так как покрытия формируются исключительно на поверхности отдельных нитей.

Количественное исследование состава покрытий, нанесенных из растворов теломеров ТФЭ, проведенное энергодисперсионным методом, обнаруживает незначительное содержание фтора – от 1,39 % при использовании ТФЭ/АЦ до 3,25 % при использовании ТФЭ/БХ. Несложный расчет показывает, что фторсодержащие покрытия характеризуются малой толщиной (около 300–600 нм) [Пророкова, Кумеева, Кирихин и Бузник, 2013].

Морфология покрытий, сформированных с использованием растворов теломеров ТФЭ, показана на рисунке 3 на основе данных атомно-силового микроскопии.

Поверхность фторполимерного покрытия на нитях полиэфирной ткани, сформированного из ТФЭ/АЦ и

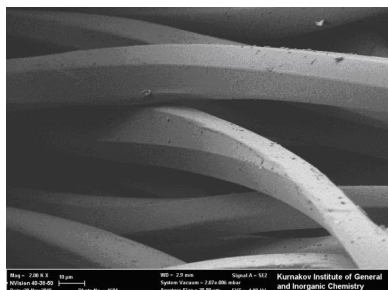


Рисунок 2 – Изображение ПЭФ ткани с теломерным покрытием, сформированным за счет обработки 1,5 %-ным раствором теломеров ТФЭ в хлористом бутиле (метод сканирующей электронной микроскопии, увеличение 110)

Figure 2 – Image of PE fabric with a telomeric coating formed by treatment with a 1.5 % solution of TFE telomers in butyl chloride (scanning electron microscopy, magnification 110)

ТФЭ/ТМХС (рисунок 3) отличается более высокой шероховатостью. Покрытие, полученное на основе ТФЭ/БХ, является более равномерным.

Таким образом, нанесение на полиэфирную ткань теломеров с последующей термообработкой приводит к образованию на поверхности волокон сплошного фторполимерного покрытия. Сформированные ультратонкие покрытия повторяют микрорельеф волокна. Они также характеризуются шероховатостью на наноуровне, которая вносит дополнительный вклад в многомодальную шероховатость волокнистого материала. В зависимости от того, какой телоген и доза излучения использовались при синтезе теломеров и, следовательно, какие концевые группы они содержат и какой длиной цепи характеризуются, меняется качество формируемого покрытия.

В таблице 1 представлены характеристики водоотталкивающих свойств ПЭФ ткани, обработанной различными теломерами ТФЭ. Для сравнения в таблице представлены также характеристики ПЭФ ткани, обра-

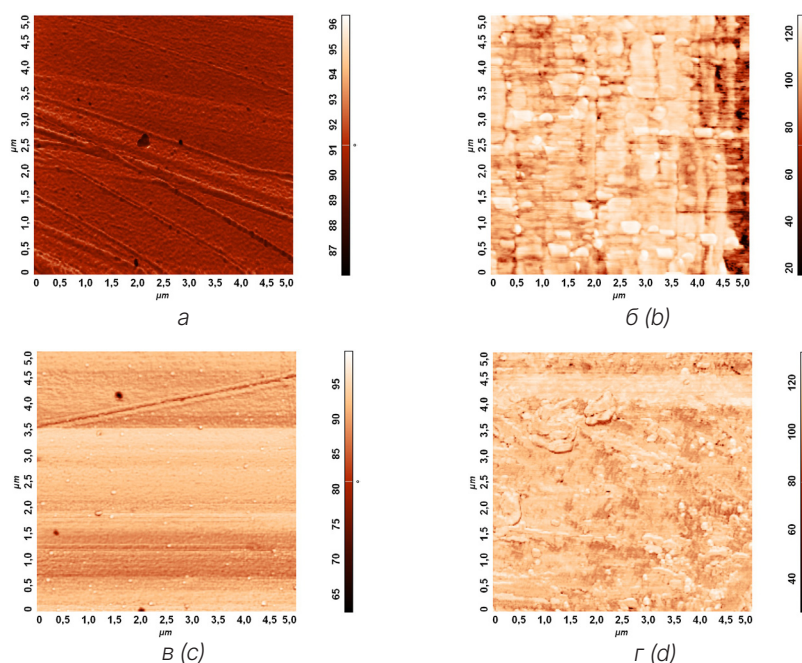


Рисунок 3 – Изображения поверхности полиэфирной пленки: а – необработанной; б – с покрытием на основе ТФЭ/АЦ; в – с покрытием на основе ТФЭ/БХ; г – с покрытием на основе ТФЭ/ТМХС.

Метод исследования – атомно-силовая микроскопия. Метод представления – фазовый контраст
Figure 3 – Images of the surface of polyester film: a – untreated; б – with a coating based on TFE/AC; в – with a coating based on TFE/BC; г – with a coating based on TFE/TMHS.

Research method – atomic force microscopy. Representation method – phase contrast

ботанной хорошо показавшим себя на практике фтор-содержащим препаратом Nuva ТТН (Швейцария).

Оценка водоотталкивающих свойств ПЭФ ткани, обработанной различными теломерами ТФЭ, показала, что модифицированная ткань приобретает высокие краевые углы смачивания – 123–132°. Особенно следует отметить низкие показатели водопоглощения, которые ткань приобретает при использовании теломеров ТФЭ/БХ и ТФЭ/ТМХС: оно составляет 4,9 % и 2,4 %, со-

ответственно, тогда как использование высокоэффективного препарата Nuva ТТН (Швейцария) позволяет достичь только 12 %. Значение водопоглощения необработанной ткани составляет 38 %.

Устойчивость достигнутого эффекта гидрофобности оценивали по показателям краевого угла смачивания обработанной ткани, подвергнутой ряду испытаний. Полученные данные представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Водоотталкивающие свойства ПЭФ ткани с покрытиями на основе различных теломеров ТФЭ
Table 1 – Water-repellent properties of PE fabrics with coatings based on various TFE telomers

Кратность нанесения	Краевой угол смачивания, град	Водопоглощение, %
Ткань без гидрофобизатора		
0	Вода впитывается мгновенно	38,0 ± 0,9
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/АЦ		
2	127 ± 2	22,4 ± 0,2
3	127 ± 2	18,2 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/БХ		
2	131 ± 2	10,3 ± 0,2
3	132 ± 2	4,9 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/ТМХС		
2	125 ± 2	1,2 ± 0,1
3	123 ± 2	2,4 ± 0,2
Ткань с покрытием на основе препарата Nuva ТТН		
1 (30 г/л)	132 ± 4	12,0 ± 0,2

Таблица 2 – Устойчивость эффекта гидрофобности к различным эксплуатационным воздействиям
Table 2 – Resistance of the hydrophobic effect to various operational impacts

Краевой угол смачивания до испытания, град.	Краевой угол смачивания, град., после		
	100 циклов истирания	25 стирок	25 химических чисток
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/АЦ			
127 ± 2	135 ± 2	124 ± 2	132 ± 2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/БХ			
132 ± 2	138 ± 2	127 ± 2	132 ± 2
Ткань с покрытием на основе теломеров ТФЭ/ТМХС			
123 ± 2	124 ± 2	124 ± 2	129 ± 2
Ткань с покрытием на основе препарата Nuva ТТН			
132 ± 4	111 ± 4	103 ± 5	120 ± 5

Из таблицы следует, что покрытия, сформированные различными теломерами ТФЭ, обладают очень высокой устойчивостью к эксплуатационным воздействиям. Она существенно превышает устойчивость покрытий на основе применяемого в производстве высокоэффективного препарата Nuva ТТН. Сопоставление свойств покрытий на основе различных теломеров ТФЭ показывает, что все они характеризуются сходной устойчивостью к воздействию стирки и химической чистки. Однако покрытия на основе теломеров ТФЭ/АЦ и ТФЭ/БХ значительно лучше сопротивляются воздействию истирания, чем покрытия на основе ТФЭ/ТМХС. Это может быть связано с разницей в пластических свойствах покрытий, которая отражается на морфологии покрытий. Разница в структуре поверхности дает возможность оценить пластические свойства покрытий методом силовой спектроскопии, который реализуется с помощью атомно-силового микроскопа [Ferreira, Gelinck, de Graaf, & Fisher, 2010]. Метод силовой спектроскопии основан на непосредственном взаимодействии между атомами поверхности и зондовым датчиком микроскопа. На расстоянии около одного ангстрема между атомами образца и атомом зонда действуют силы отталкивания, а на больших расстояниях, силы притяжения. Сила, действующая на зонд со стороны поверхности, приводит к изгибу консоли зонда, регистрируя величину которого, можно получить информацию о жесткости поверхности в отдельных точках.

Экспериментальная оценка жесткости позволила установить, что этот показатель для теломеров ТФЭ/АЦ

составляет 0,015, ТФЭ/БХ – 0,024, ТФЭ/ТМХС – 0,042, т. е. покрытие на основе ТФЭ/ТМХС обладает значительно более высокой жесткостью. Из сопоставления данных о жесткости покрытий и устойчивости их к воздействию истирания становится ясно, что покрытия с более высокой жесткостью обладают меньшей устойчивостью к истиранию.

Выводы

Оценка возможности использования ряда теломеров ТФЭ в качестве гидрофобизаторов для полиэфирной ткани показала, что при нанесении на ткань теломеров ТФЭ/АЦ, ТФЭ/БХ и ТФЭ/ТМХС на поверхности каждой нити, составляющей ткань, образуются ультратонкие покрытия, которые обладают свойствами, подобными свойствам политетрафторэтилена, и повторяют микро- и нанорельеф волокна. Ткань с таким покрытием обладает высоким краевым углом смачивания (123–132 градуса). Водопоглощение варьируется в зависимости от вида теломера и кратности нанесения покрытия. Максимально высокий краевой угол смачивания достигается при использовании растворов теломеров ТФЭ/ХБ, наиболее низкое значение водопоглощения ткани наблюдается при использовании растворов теломеров ТФЭ/ТМХС. Таким образом, установлено, что теломеры ТФЭ являются эффективными гидрофобизаторами для ПЭФ тканей, использование которых может обеспечить придание тканям высокого краевого угла смачивания и низкого водопоглощения. Основное их отличие связано с разной пластичностью формируемых покрытий, характеризующихся показателем жесткости покрытий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Бойнович, Л.Б. и Емельяненко, А.М. (2008). Гидрофобные материалы и покрытия: принципы создания, свойства и применение. *Успехи химии*, № 77 (7), С. 619–638.
- Бузник, В.М. (2017). *Фторполимерные материалы*. Томск: Изд-во НТЛ, Российская Федерация.
- Бяльский, А.Л. и Карпов, В.В. (1971). *Красители для текстильной промышленности*. М.: Химия, СССР.
- Калдыбаева, Г.Ю., Набиева, И.А., Елдияр, Г.К. и Нуркулов, Ф.Н. (2022). Изучение влияния природы гидрофобизирующих композиций на водоотталкивающую способность ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 3 (399), С. 157–164. DOI 10.47367/0021-3497_2022_3_157
- Козуб, Д.А., Редина, Л.В., Эльманович, И.В. и Денисов, М.Е. (2023). Исследование защитных свойств волокнистых материалов, модифицированных композициями на основе фторполимерного латекса. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 3 (405), С. 156–162. DOI 10.47367/0021-3497_2023_3_156.
- Кумеева, Т.Ю., Пророкова, Н.П. и Кичигина, Г.А. (2015). Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов растворами теломеров тетрафторэтилена, синтезированными в ацетоне и хлористом бутиле: свойства и структура покрытий.

Физикохимия поверхности и защита материалов, Т 51, С. 428–435. DOI: 10.7868/S004418561504021X.

Олейник, Э.Ф. (1976). *Инфракрасная спектроскопия полимеров*. М.: Химия, СССР.

Пророкова, Н.П., Кумеева, Т.Ю., Хореев, А.В., Бузник, В.М., Кирюхин, Д.П., Большаков, А.И. и Кичигина, Г.А. (2010). Придание полиэфирным текстильным материалам высокой гидрофобности обработкой их раствором теломеров тетрафторэтилена. *Хим. Волокна*, № 2, С. 25–30.

Пророкова, Н.П., Кумеева, Т.Ю., Кирюхин, Д.П. и Бузник, В.М. (2013). Гидрофобизация полиэфирных текстильных материалов теломерными растворами тетрафторэтилена. *Журнал прикладной химии*, Т 86, № 1, С. 74–81.

Пророкова, Н.П., Кумеева, Т.Ю., Новиков, В.В. и Холодков, И.В. (2018). Регулирование трибологических характеристик тканых полиэфирных материалов при модифицировании их теломерами тетрафторэтилена. *Трение и износ*, Т39, № 2. С. 157–165.

Armitage, J.M., MacLeod, M. and Cousins, I.T. (2009). Comparative Assessment of the Global Fate and Transport Pathways of Long-Chain Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) and Perfluorocarboxylates (PFCs) Emitted from Direct Sources. *Environmental Science & Technology*, V. 43, P. 5830–5836. DOI: 10.1021/es900753y.

Boinovich, L. and Emelyanenko, A. (2011). The prediction of wettability of curved surfaces on the basis of the isotherms of the disjoining pressure. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects*, V. 383, P. 10–16. DOI:10.1016/j.colsurfa.2010.12.020.

Ferreira, O.D.S., Gelinck, E., de Graaf, D. and Fisher H.R. (2010). Adhesion experiments using an AFM – Parameters of influence. *Appl. Surf. Sci.*, V. 257, P 48–55. DOI:10.1016/j.apsusc.2010.06.031.

Gao, L.C. and McCarthy, T.J. (2008). Teflon is hydrophilic. Comments on definitions of hydrophobic, shear versus tensile hydrophobicity, and wettability characterization. *Langmuir*, V. 24, P. 9183–9188. DOI: 10.1021/la8014578.

Halimatul, M.J., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R. and Ilyas, R.A. (2019). Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles. *Polimery*, V. 64, P. 27–35. DOI:10.14314/polimery.2019.94.

Ilyas, R.A., Sapuan, S.M., Atiqah, A., Rushdan, I., Hairul, A., Ishak, M.R., Zainudin, E.S., Nurazzi, N.M., Atikah, M.S.N., Ansari, M.N.M., Asyraf, M.R.M., Supian, A.B.M. and Ya, H.H. (2019). Sugar palm (Arenga pinnata [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties. *Polym. Compos.*, V. 41, P. 459–467. DOI:10.1002/pc.25379.

Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Joseph, G.B., Durairaj, R.B. and Mageshwaran, G. (2018). Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges. *J. Coat. Technol. Res.*, V. 15, P. 231–250. DOI:10.1007/s11998-017-0011-x.

Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chena, G. and Lai, Y. (2017). A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *J. Mater. Chem. A*, V. 5, P. 31–55. DOI:10.1039/C6TA07984A.

Minko, S., Müller, M., Motornov, M., Nitschke, M., Grundke, K. and Stamm, M. (2003). Two-level structured self-adaptive surfaces with reversibly tunable properties. *J. Am. Chem. Soc.*, V. 125, P. 3896–3900. DOI: 10.1021/ja0279693.

Oner, D. and McCarthy, J.T. (2000). Ultra hydrophobic surfaces. Effects of topography length scales on wettability. *Langmuir*, V. 16, P. 7777–7782. DOI:10.1021/la000598o.

Park, S., Kim, J. and Park, C.H. (2015). Superhydrophobic Textiles: Review of Theoretical Definitions, Fabrication and Functional Evaluation. *J. Eng. Fiber Fabr.*, V. 10, P. 1–18. DOI:10.1177/155892501501000401.

Petrie, E.M. (2007). *Handbook of adhesives and sealants*. The McGraw-Hill Companies, Inc. 2nd ed. USA.

Prorokova, N.P., Kumeeva, T.Yu., Kiryukhin, D.P., Kichigina, G.A. and Kushch, P.P. (2020). Coatings based on tetrafluoroethylene telomeres synthesized in trimethylchlorosilane for obtaining highly hydrophobic polyester fabrics. *Prog. Org. Coat.*, V. 139. P. 105485. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2019.105485.

Prorokova, N., Kumeeva, T. and Kholodkov, I. (2020). Formation of Coatings Based on Titanium Dioxide Nanosols on Polyester Fibre Materials. *Coatings*, V. 10, P 82. doi:10.3390/coatings10010082.

Ramaratnam, K., Iyer, S.K., Kinnan, M.K., Chumanov, G., Brown, P.J. and Luzinov I. (2008). Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach. *J. Eng. Fiber Fabr.*, V. 3, P. 1–14. DOI:10.1177/155892500800300402.

Schondelmaier, D., Cramm, S., Klingeler, R., Morenzin, J., Zilkens, C. and Eberhardt, W. (2002). Orientation and self-assembly of hydrophobic fluoroalkylsilanes. *Langmuir*, V. 18, P. 6242–6245. DOI:10.1021/la0256533.

REFERENCES

- Boinovich, L.B. and Emelyanenko, A.M. (2008). Hydrophobic materials and coatings: principles of design, properties and applications [Gidrofobnye materialy i pokrytiya: principy sozdaniya, svoystva i primeneniye]. *Uspekhi himii = Russ. Chem. Rev.*, 77 (7), P. 583–600. DOI: 10.1070/RC2008v077n07ABEH003775.
- Buznik, V.M. (2017). *Ftorpolimernie materialy* [Fluoropolymer materials]. Tomsk: Izd. NTL, Russian Federation (In Russian).
- Byalskiy, A.L. and Karpov, V.V. (1971). *Krasiteli dlia tekstilnoy promishlennosti* [Dyes for textile industry]. M.: Chimia, USSR (In Russian).
- Kaldibaeva, G.Y., Nabieva, I.A., Eldiar, G.K. and Nurkulov, F.N. (2022). Study of the influence of the nature of water-repellent compositions on the water-repellent ability of fabric [Izucheniye vlianiya prirodi gidrofobiziruyushchikh kompozitsii na vodoottalkivaushuyu sposobnost tkani]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 3 (399), P. 157–164. (In Russian).
- Kozub, D.A., Redina, L.V., Elmamovich, I.V. and Denisov, M.E. (2023). Study of the protective properties of fibrous materials modified with compositions based on fluoropolymer latex [Issledovanie zaschitnykh svoystv voloknistikh materialov, modifitsirovannykh kompozitsiyami na osnove ftorpolimernogo lateksa]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 3 (405), P. 156–162. (In Russian).
- Kumeeva, T.Yu., Prorokova, N.P. and Kichigina, G.A. (2015). Hydrophobization of polyester textile materials with solutions of tetrafluoroethylene telomers synthesized in acetone and butyl chloride: properties and structure of coatings [Gidrofobizatsiya poliefirnykh tekstil'nykh materialov rastvorami telomerov tetraftoretilena, sintezirovannykh v acetone i hloristom butile: svoystva i struktura pokrytij]. *Fizikohimiya poverhnosti i zashchita materialov = Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, V. 51, P. 428–435. DOI: 10.1134/S2070205115040218 (In Russian).
- Oleynik, E.F. (1976). *Infrakrasnaya spektroskopiya polimerov* (Infrared spectroscopy of polymers). M.: Chimia, USSR (In Russian).
- Prorokova, N.P., Kumeeva, T.Yu., Khorev, A.V., Buznik, V.M., Kiryukhin, D.P., Bol'shakov, A.I. and Kichigina, G.A. (2010). Giving polyester textile materials high water repellency by treating them with a solution of tetrafluoroethylene telomers [Pridaniye poliefirnym tekstil'nykh materialam vysokoy gidrofobnosti obrabotkoj ih rastvorom telomerov tetraftoretilena]. *Him. Volokna = Fibre Chem.*, V. 42, P. 103–108. DOI: 10.1007/s10692-010-9232-9 (In Russian).
- Prorokova, N.P., Kumeeva, T.Yu., Kiryukhin, D.P. and Buznik, V.M. (2013). Hydrophobization of polyester textile materials with telomeric tetrafluoroethylene solutions [Gidrofobizatsiya poliefirnykh tekstil'nykh materialov telomernymi rastvorami tetraftoretilena]. *Zhurnal prikladnoy himii = Rus. J. Appl. Chem.*, V. 86, P. 69–75. DOI: 10.1134/S1070427213010126 (In Russian).
- Prorokova, N.P., Kumeeva, T.Yu., Novikov, V.V. and Holodkov I.V. (2018). Regulation of the tribological characteristics of polyester fabrics by surface modification using tetrafluoroethylene telomers [Pegulirovaniye tribologicheskikh harakteristik tkanykh poliefirnykh materialov pri modifitsirovaniy ih telomernymi tetraftoretilena]. *Trenie i iznos = J. Frict. Wear*, V. 39, P. 121–128. DOI: 10.3103/S1068366618020149 (In Russian).
- Armitage, J.M., MacLeod, M. and Cousins, I.T. (2009). Comparative Assessment of the Global Fate and Transport Pathways of Long-Chain Perfluorocarboxylic Acids (PFCAs) and Perfluorocarboxylates (PFCs) Emitted from Direct Sources. *Environmental Science & Technology*, V. 43, P. 5830–5836. DOI: 10.1021/es900753y.
- Boinovich, L. and Emelyanenko, A. (2011). The prediction of wettability of curved surfaces on the basis of the isotherms of the disjoining pressure. *Colloids Surf. A: Physicochem. Eng. Aspects.*, V. 383, P. 10–16. DOI:10.1016/j.colsurfa.2010.12.020.
- Ferreira, O.D.S., Gelinck, E., de Graaf, D. and Fisher H.R. (2010). Adhesion experiments using an AFM – Parameters of influence. *Appl. Surf. Sci.*, V. 257, P. 48–55. DOI:10.1016/j.apsusc.2010.06.031.
- Gao, L.C. and McCarthy, T.J. (2008). Teflon is hydrophilic. Comments on definitions of hydrophobic, shear versus tensile hydrophobicity, and wettability characterization. *Langmuir*, V. 24, P. 9183–9188. DOI: 10.1021/la8014578.
- Halimatul, M.J., Sapuan, S.M., Jawaid, M., Ishak, M.R. and Ilyas, R.A. (2019). Water absorption and water solubility properties of sago starch biopolymer composite films filled with sugar palm particles. *Polimery*, V. 64, P. 27–35. DOI:10.14314/

polimery.2019.94.

Ilyas, R.A., Sapuan, S.M., Atiqah, A., Rushdan, I., Hairul, A., Ishak, M.R., Zainudin, E.S., Nurazzi, N.M., Atikah, M.S.N., Ansari, M.N.M., Asyraf, M.R.M., Supian, A.B.M. and Ya, H.H. (2019). Sugar palm (Arenga pinnata [Wurmb.] Merr) starch films containing sugar palm nanofibrillated cellulose as reinforcement: Water barrier properties. *Polym. Compos.*, V. 41, P. 459–467. DOI:10.1002/pc.25379.

Jeevahan, J., Chandrasekaran, M., Joseph, G.B., Durairaj, R.B. and Mageshwaran, G. (2018). Superhydrophobic surfaces: a review on fundamentals, applications, and challenges. *J. Coat. Technol. Res.*, V. 15, P. 231–250. DOI:10.1007/s11998-017-0011-x.

Li, S., Huang, J., Chen, Z., Chena, G. and Lai, Y. (2017). A review on special wettability textiles: theoretical models, fabrication technologies and multifunctional applications. *J. Mater. Chem. A*, V. 5, P. 31–55. DOI:10.1039/C6TA07984A.

Minko, S., Müller, M., Motornov, M., Nitschke, M., Grundke, K. and Stamm, M. (2003). Two-level structured self-adaptive surfaces with reversibly tunable properties. *J. Am. Chem. Soc.*, V. 125, P. 3896–3900. DOI: 10.1021/ja0279693.

Oner, D. and McCarthy, J.T. (2000). Ultra hydrophobic surfaces. Effects of topography length scales on wettability. *Langmuir*, V. 16, P. 7777–7782. DOI:10.1021/la000598o.

Park, S., Kim, J. and Park, C.H. (2015). Superhydrophobic Textiles: Review of Theoretical Definitions, Fabrication and Functional Evaluation. *J. Eng. Fiber Fabr.*, V. 10, P. 1–18. DOI:10.1177/155892501501000401.

Petrie, E.M. (2007). *Handbook of adhesives and sealants*. The McGraw-Hill Companies, Inc. 2nd ed. USA.

Prorokova, N.P., Kumeeva, T.Yu., Kiryukhin, D.P., Kichigina, G.A. and Kushch, P.P. (2020). Coatings based on tetrafluoroethylene telomers synthesized in trimethylchlorosilane for obtaining highly hydrophobic polyester fabrics. *Prog. Org. Coat.*, V. 139. P. 105485. DOI: 10.1016/j.porgcoat.2019.105485.

Prorokova, N., Kumeeva, T. and Kholodkov, I. (2020). Formation of Coatings Based on Titanium Dioxide Nanosols on Polyester Fibre Materials. *Coatings*, V. 10, P. 82. doi:10.3390/coatings10010082.

Ramaratnam, K., Iyer, S.K., Kinnan, M.K., Chumanov, G., Brown, P.J. and Luzinov I. (2008). Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach. *J. Eng. Fiber Fabr.*, V. 3, P. 1–14. DOI:10.1177/155892500800300402.

Schondelmaier, D., Cramm, S., Klingeler, R., Morenzin, J., Zilkens, C. and Eberhardt, W. (2002). Orientation and self-assembly of hydrophobic fluoroalkylsilanes. *Langmuir*, V. 18, P. 6242–6245. DOI:10.1021/la0256533.

Информация об авторах

Information about the authors

Пророкова Наталья Петровна

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: npp@isc-ras.ru

Кумеева Татьяна Юрьевна

Кандидат технических наук, научный сотрудник, Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: tyk@isc-ras.ru

Кiryukhin Дмитрий Павлович

Доктор химических наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией, Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук, Российская Федерация.
E-mail: kir@icp.ac.ru

Natalia P. Prorokova

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chief Researcher, G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: npp@isc-ras.ru

Tatyana Yu. Kumeeva

Candidate of Sciences (in Engineering), Researcher, G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: tyk@isc-ras.ru

Dmitriy P. Kiruchin

Doctor of Science (in Chemistry), Senior Researcher, Head of the Laboratory, Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation.
E-mail: kir@icp.ac.ru

Нефинансовая отчетность: содержание, развитие, международные стандарты и информационная база для их применения субъектами хозяйствования Беларуси

Е.С. Грузневич

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Актуальность исследования обусловлена необходимостью белорусских субъектов хозяйствования встраиваться в глобальные цепочки поставок для наращивания своего экспортного потенциала, повышения конкурентоспособности и возможности технологической трансформации бизнеса. Для этого организациям необходимо соответствовать международному контексту устойчивого развития и демонстрировать приверженность использования его практик заинтересованным сторонам посредством нефинансовой отчетности.

Так как в Республике Беларусь пока еще не создана методическая база для формирования нефинансовой отчетности, субъекты хозяйствования могут использовать международные стандарты для ее подготовки. Возможность составления нефинансовой отчетности субъектами хозяйствования Республики Беларусь на основе международных стандартов требует от них готовности и достаточности информационной базы.

Целью статьи является разработка направлений повышения уровня полноты и достаточности информационной базы субъектами хозяйствования Республики Беларусь для составления ими нефинансовой отчетности по международным стандартам GRI, SASB, IIRC.

В статье исследован зарубежный опыт регулирования нефинансовой отчетности, тенденции ее опубликования, содержание и характеристика отдельных добровольных международных стандартов нефинансовой отчетности, развитие нефинансовой отчетности в Республике Беларусь. Рассмотрена существующая информационная база у субъектов хозяйствования Республики Беларусь для возможности применения ими стандартов GRI, SASB, IIRC. По результатам исследования сделан вывод о несовершенстве существующей для составления нефинансовой отчетности информационной базы национальными экономическими субъектами.

Предложены рекомендации по развитию информационной базы, включающие: разработку и утверждение внутренних рабочих документов по стратегии, политикам, целям и мероприятиям по устойчивому развитию и ESG; разработку методических документов в области нефинансовой отчетности, повышение аналитичности используемых в организациях программных продуктов по ведению бухгалтерского учета; ведение Telegram-канала и тематического раздела на корпоративном сайте для публикации событий и результатов деятельности организации в области устойчивого развития и ESG, что позволит кратко аккумулировать информацию и создать основу для отражения ее в нефинансовой отчетности и другие.

Ключевые слова: нефинансовая отчетность, международные стандарты нефинансовой отчетности, информационная база для нефинансовой отчетности, GRI, SASB, IIRC.

Информация о статье: поступила 16 декабря 2024 года.

Non-financial reporting: content, development, international standards and information base for their application by business entities in Belarus

Katsiaryna S. Gruznevich

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

Abstract. The relevance of the study is due to the need for Belarusian business entities to integrate into global supply chains in order to enhance their export potential, increase competitiveness, and capacity for technological transformation of the business. For this, organizations need to comply with the international context of sustainable development and demonstrate their commitment implementing these practices to stakeholders through non-financial reporting.

As Belarus lacks a nationally standardized methodological framework for non-financial reporting, business entities may rely on international standards for its preparation. Compiling non-financial reports in accordance with international standards necessitates access to a reliable and comprehensive information base.

The purpose of the article is to propose measures for improving the completeness and adequacy of the information base for Belarusian economic entities to prepare non-financial statements under GRI, SASB, IIRC standards.

The article analyzes foreign experience in regulatory frameworks for non-financial reporting, global publication trends, the scope and features of key voluntary international standards of non-financial statements, and the evolution of non-financial reporting practices in Belarus. The author assesses the existing information base available to Belarusian entities for applying GRI, SASB, and IIRC standards. The study concludes that the current information base is inadequate for compiling non-financial statements by domestic entities.

Recommendations for strengthening the information base include: development and validation of internal strategic documents on sustainability and Environmental, Social, and Governance (ESG) policies, objectives, and initiatives; creation of methodological guidelines for non-financial reporting; enhancement of analytical capabilities of accounting software; and establishment of dedicated communication channels, such as Telegram channel or a corporate website section for publishing events and the results of the organization in the field of sustainable development and ESG, thereby streamlining data collection for non-financial disclosures.

Keywords: non-financial reporting, international standards for non-financial reporting, information base for non-financial reporting, GRI, SASB, IIRC.

Article info: received December 16, 2024.

Введение

Нефинансовая отчетность – это совокупность сведений и показателей, отражающих стратегию, цели, подходы к управлению и результаты деятельности организации в части социальной ответственности и устойчивого развития¹.

Вопросы содержания и практики составления нефинансовой отчетности, ее роль и влияние на организацию рассматриваются в работах многих авторов (Горбуновой Н. А., 2022; Гусаровой Л. В., 2024; Капустиной И. А., 2023; Сенаторовой Е. А., 2018; Coppoletta F. N. [and others], 2024; Hahn R. and Kühnen M., 2013; Kulkarni R., 2014; Rossi P. and Candio P., 2023; Shad M. K. [and others], 2019, Turzo T. [and others], 2024; и других).

Внедрение системы нефинансовой отчетности способствует повышению информационной открытости и прозрачности деятельности предприятий, что, в свою очередь, приводит к повышению инвестиционной привлекательности организаций через удовлетворение запроса инвесторов, применяющих ответственный подход к инвестированию.

Для белорусских организаций основными драйверами публикации нефинансовой отчетности являются: выполнение регуляторных требований (обязательство организаций выполнять требования законодательства стран, в которые экспортируется продукция); возможность использовать ее как инструмент привлечения капитала; возможность улучшения имиджа организации, деловой репутации и узнаваемости ее бренда; использование ее как инструмента развития партнерства с потребителями, поставщиками, персоналом и другими заинтересованными сторонами; повышение эффективности управления организациями.

Основными принципами, определяющими содержание нефинансовой отчетности, являются: взаимодействие с заинтересованными сторонами, контекст устойчивого развития, существенность, полнота. Принципами обеспечения ее качества – сбалансированность, сопоставимость, точность, ясность и надежность (Моисеева, 2019). Целью ее формирования – выполнение глобальных и национальных Целей устойчивого развития, ответственность перед заинтересованными сторонами за результаты своей деятельности, повышение стоимости организации за счет ее деловой репутации, которую можно улучшить в результате присвоения высоких ESG-рейтингов.

¹ Проект Федерального закона «О публичной нефинансовой отчетности», подготовленный Минэкономразвития России (текст на 27.08.2018 г.). Доступно по: <http://media.rsp.ru/document/1/1/0/107455ceaeabe24b68bda19afb80627e.pdf>.

Этапы и процедуры разработки нефинансовой отчетности в организации включают: анализ и обоснование приоритетов устойчивости компании и их интеграция в стратегию развития; выявление и анализ взаимодействия с заинтересованными сторонами; определение уровня раскрытия информации в отчетности; определение существенных тем/аспектов и оценка их влияния; выбор и обоснование ключевых показателей эффективности; согласование с требованиями, содержанием и графиком подготовки финансовой отчетности; подтверждение надежности информации отчета; разработка и развитие формата, дизайна и макета отчета; анализ и оценка результатов деятельности в области устойчивого развития [Ефимова, 2018].

Ключевыми темами нефинансовой отчетности являются: «Е» – изменение климата, управление водными ресурсами, биоразнообразие и земельные ресурсы, выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, сбросы сточных вод, отходы и использование ресурсов и прочие; «S» – права человека, трудовые практики, оплата труда, производственная безопасность, отношения с местными сообществами и прочие; «G» – управление цепочкой поставок, взаимодействие с клиентами, противодействие коррупции и деловая этика, раскрытие информации и корпоративное управление, прочие.

Целью статьи является разработка направлений повышения уровня полноты и достаточности информационной базы субъектами хозяйствования Республики Беларусь для составления ими нефинансовой отчетности по международным стандартам GRI, SASB, IIRC.

Методы и средства исследований

В качестве эмпирической базы исследования выступили данные в области публикации нефинансовой отчетности среди ста крупнейших организаций различных регионов мира, результаты исследования операционных практик нефинансовой отчетности российских организаций, исследования консалтинговых компаний. Для исследования развития нефинансовой отчетности в Республике Беларусь использовалась информация государственных документов планирования и прогнозирования, научные статьи, корпоративные сайты белорусских организаций. Изучение структуры и содержания нефинансовых отчетов проведено на основе анализа международных стандартов нефинансовой отчетности, таких как GRI, SASB, IIRC.

В результате исследования существующей информационной базы субъектов хозяйствования Республики Беларусь для формирования ими нефинансовой отчетности с использованием международных стандартов GRI, SASB, IIRC была определена степень ее достаточности, а также предложены рекомендации по повышению ее уровня.

Мировой опыт разработал различные подходы к регулированию нефинансовой отчетности (рисунок 1).

В международном исследовательском сообществе специалистами KPMG ежегодно проводится мониторинг в области публикации нефинансовой отчетности среди ста крупнейших организаций (N100) различных регионов мира (рисунок 2).



Рисунок 1 – Подходы к регулированию нефинансовой отчетности в некоторых странах мира
Figure 1 – Approaches to regulating non-financial reporting in selected countries worldwide

Источник: составлено автором.

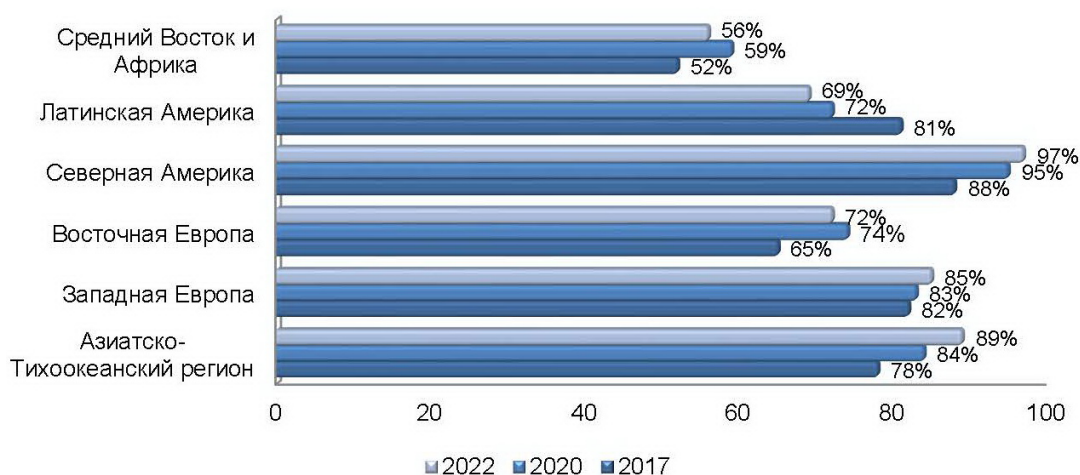


Рисунок 2 – Доля организаций, публикующих нефинансовую отчетность среди N100 по регионам мира
Figure 2 – Percentage of N100 organizations publishing non-financial reports across world regions

Источник: составлено автором на основе².

Азиатско-Тихоокеанский регион демонстрирует увеличение доли организаций, публикующих нефинансовую отчетность среди N100 на 5 п. п. в 2022 г. по сравнению с 2021 г. до 89 %, и на 11 п. п. по сравнению с 2017 г. Процент публикации отчетности в Западной Европе выше, чем в Восточной Европе. По Западной Европе он увеличился с 82 % в 2017 г. до 85 % в 2022 г., по Восточной Европе – с 65 % до 72 %, что связано с усилением давления со стороны регуляторных органов, инвесторов и потребителей. В Северной Америке наблюдается увеличение доли N100, публикующих нефинансовую отчетность на 2 п. п. в 2022 г. по сравнению с 2021 г. до 97 %, и на 9 п. п. по сравнению с 2017 г. Данный регион лидирует среди других регионов мира. В Латинской Америке показатель сократился с 81 % в 2017 г. до 69 % в 2022 г. Страны Востока и Африки демонстрируют самую низкую долю в N100, публикующих нефинансовую отчетность среди регионов мира – 56 %, по сравнению с 2021 г. она снизилась на 3 п. п. Таким образом, общая тенденция определяет рост числа публикаций нефинансовой отчетности.

Содержание нефинансовой отчетности определяется добровольными международными стандартами, национальными рекомендациями и требованиями органов управления.

Наиболее распространенными (рисунок 3) и обще-признанными добровольными стандартами нефинансовой отчетности являются:

- Глобальная инициатива по отчетности (GRI)³, запущенная в 1997 г., ставшая первым глобальным стандартом отчетности в области устойчивого развития;
- Совет по стандартам учета в области устойчивого развития (SASB)⁴, который в конце 2010-х годов инициировал разработку отраслевых стандартов с упором на влияние ESG-факторов на финансовое состояние организаций;
- Международный совет по интегрированной отчетности (IIRC)⁵, опубликовавший впервые в 2013 г. стандарт, основанный на предоставлении инвесторам информации об устойчивом развитии в краткой форме.

² KPMG (2022), Survey of Sustainability Reporting 2022. KPMG. Available at: <https://assets.kpmg.com/content/dam/kpmg/se/pdf/komm/2022/Global-Survey-of-Sustainability-Reporting-2022.pdf> (Accessed: 18 August 2024).

³ GRI Standards (2016), Global Reporting Initiative. Available at: <https://www.globalreporting.org/standards/download-the-standards/> (Accessed: 18 August 2024).

⁴ SASB Standards (2023), Council on accounting standards in the area of sustainable development. Available at: <https://sasb.ifrs.org/standards/download/> (Accessed: 18 August 2024).

⁵ Integrated Reporting (2021), International Financial Reporting Standards Foundation. Available at: <https://integratedreporting.ifrs.org/resource/international-ir-framework/> (Accessed: 18 August 2024).

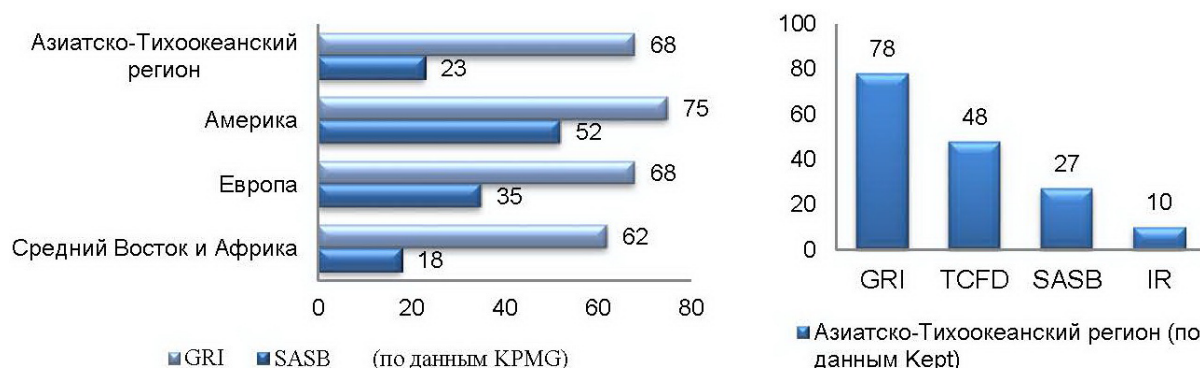


Рисунок 3 – Использование добровольных стандартов нефинансовой отчетности организациями N100 в 2022 г., %
 Figure 3 – Use of voluntary non-financial reporting standards by N100 organizations in 2022, %

Источник: составлено автором на основе²⁶.

Также в мировом сообществе нашли широкое применение рекомендации по раскрытию финансовой информации, связанной с изменением климата (TCFD), Европейские стандарты отчетности в области устойчивого развития (EARS), руководство по показателям отчетности о вкладе в достижение целей устойчивого развития (ЮНКТАД), проект углеродной отчетности (CDP) и другие. В 2023 г. Международный Совет по Стандартам отчетности по устойчивому развитию (ISSB) опубликовал два первых стандарта МСФО по отчетности в области устойчивого развития: стандарт МСФО S1 «Общие требования по раскрытию финансовой информации, связанной с устойчивым развитием», устанавливающий общие требования к отчетности в области устойчивого развития и стандарт МСФО S2 «Раскрытие информации, связанной с климатом», детализирующий требования к раскрытию информации по климатическим аспектам. Ожидается, что данный стандарт внесет значительный вклад в развитие системы корпоративной отчетности Фонда МСФО.

Значительная часть крупнейших организаций в различных регионах мира применяют стандарты GRI, SASB, IIRC и др. (рисунок 3). По данным KPMG (KPMG, 2022), наиболее часто используемым добровольным стандартом нефинансовой отчетности среди организаций N100 в различных регионах мира является GRI. Стандарты SASB применяют около трети N100. Наибольшую популярность они получили в Америке (52 % N100), в основном сре-

ди организаций США и Канады. По данным Kept (Kept, 2022), большинство организаций N100 Азиатско-Тихоокеанского региона готовят нефинансовую отчетность по стандартам: GRI – 78 %, TCFD – 48 %, SASB – 27 %, IIRC – 10 %.

В Российской Федерации наиболее часто используемым стандартом (на период 2023 г.) является GRI – его используют 96,2 % компаний, SASB применяют 52,8 %, национальные рекомендации Банка России используют 67,9 % компаний (Тополя, 2023)⁷.

В связи с высокой популярностью стандартов GRI, SASB, IIRC интерес представляет изучение их содержания и особенностей, касающиеся тематики и целевой аудитории раскрываемой информации (таблица 1).

GRI стандарт представлен модульной иерархической структурой, которая включает универсальные, тематические и отраслевые стандарты. Универсальные стандарты рекомендуется использовать всем субъектам хозяйствования независимо от вида деятельности. Они включают: GRI 1, GRI 2, GRI 3. GRI 1 «Основные положения» содержит принципы отчетности, концепции стандарта и разъяснение к их применению. GRI 2 «Раскрытие общей информации об организации» включает элементы

⁶ Открывая новые горизонты: ESG-повестка в Азиатско-Тихоокеанском регионе и на Ближнем Востоке [2022]. Доступно по: https://esgworld.ru/wp-content/uploads/2022/07/issledovanie_otkryvaya_novye_gorizonty_esg_kept_alliance.pdf. [Дата доступа: 18.08.2024].

⁷ https://raex-rr.com/files/presentation/IntegratedReporting_Topolya.pdf.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика некоторых добровольных международных стандартов по нефинансовой отчетности

Table 1 – Comparative analysis of selected international standards for non-financial reporting

Параметр сравнения	GRI	SASB	IIRC
Сущность	Отчетность по отдельным темам устойчивого развития	Отраслевая отчетность по отдельным темам устойчивого развития	Отчетность по отдельным темам устойчивого развития, которые влияют на стоимость организации
Основной акцент	Воздействие ESG-тем на финансовые показатели и на общество	Воздействие ESG-тем на финансовые показатели организации	Воздействие ESG-тем на стратегию организации, бизнес-процессы, капитал
Заинтересованные стороны	Все заинтересованные стороны	Инвесторы и регуляторы	Провайдеры финансового капитала
Тематика раскрываемой информации	Защита окружающей среды; социальная ответственность и отношение с персоналом; уважение прав человека; борьба с коррупцией и взяточничеством; разнообразие в руководстве организации (в отношении пола, возраста, опыта)	Окружающая среда; социальный капитал; человеческий капитал; бизнес-модель и инновации; лидерство и управление	Темы, отражающие способности организации создавать стоимость по 6 видам капитала – финансовому, производственному, человеческому, социальному, интеллектуальному, природному
Структура	3 универсальных стандарта, 34 тематических стандарта, 4 отраслевых	77 отраслевых стандартов, в среднем по 6 разделов и 13 показателей в каждом	1 универсальный стандарт
Обязательность верификации	Не обязательно	Обязательно – ограниченная уверенность	Не обязательно
Преимущества	Охват показателей на всей цепочке создания стоимости	Сопоставимость данных организаций различных отраслей, большинство показателей являются количественными	Сочетание финансовых показателей и нефинансовых воздействий – интегрированный подход
Недостатки	Трудоемкость составления отчетности	Регламентированные ключевые темы ограничивают возможность учета особенностей деятельности организаций	Ключевые темы выбираются исходя из потребностей внутренних заинтересованных сторон

Источник: составлено автором на основе^{3,4,5}.

отчетности (информацию об организации, работниках, стратегии и политиках и др.). GRI 3 «Раскрытие информации и руководство по существенным темам организации» раскрывает существенные темы по трем элементам: GRI 3-1 «Процесс определения существенных тем»; GRI 3-2 «Перечень существенных тем»; GRI 3-3

«Управление существенными темами, по которым раскрывают сведения о подходах в области менеджмента (отдельно для каждого существенного аспекта)». Тематические стандарты имеют структуризацию по сериям: GRI 200 – «Экономика», GRI 300 – «Экология», GRI 400 – «Социальная сфера», каждая из которых вклю-

чают в себя определенный ряд существенных тем, из которых организации самостоятельно выбирают релевантные для них. Отраслевые стандарты используются организациями отдельных видов экономической деятельности и предназначены для таких из них как: GRI 11 «Нефтегазовый сектор», GRI 12 «Угольный сектор»; GRI «Сельское хозяйство, аквакультура и рыболовство», GRI 14 «Горнодобывающий сектор» (всего планируется разработать 40 отраслевых стандартов).

Стандарт SASB использует отраслевой подход к его построению. Он включает общие положения раскрытия информации, которые не зависят от вида экономической деятельности и дополняются темами раскрытия информации в рамках отдельных отраслей. Общая информация предполагает раскрытия в рамках следующих ключевых аспектов устойчивого развития: окружающая среда, социальный капитал, человеческий капитал, бизнес-модель и инновации, лидерство и управление.

IIRC стандарт включает восемь структурных элементов: обзор организации и внешняя среда; корпоративное управление; бизнес-модель; риски и возможности; стратегия и распределение ресурсов; результаты деятельности; взгляды на будущее; основа подготовки и представления отчетности. Особенностью стандарта является отсутствие в нем конкретных показателей деятельности, организациям предлагается ответить на ряд вопросов по его структурным элементам и в любой доступной форме предоставить пользователям соответствующую информацию.

Таким образом, целевой аудиторией стандартов IIRC и SASB являются инвесторы, GRI – различные стейкхолдеры. Фокус внимания в GRI направлен на воздействие организации на экономику, окружающую среду и общество, включая существенные финансовые воздействия; в IIRC – на воздействие ESG-аспектов и тем на бизнес-процессы, капитал и стратегию; в SASB – на состояние финансовых показателей организаций. Тематика раскрытия информации об устойчивом развитии в стандартах SASB определена на отраслевом уровне, IIRC и GRI – на микроуровне.

В Беларуси обязательство публикации нефинансовой отчетности не закреплено законодательно и носит добровольный характер. Работа, связанная с развитием нефинансовой отчетности уже активно ведется в стране. Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 12 марта 2020 г. № 143 «О государственной программе «Управление государственными

финансами и регулирование финансового рынка» на 2020 год и на период до 2025 года выделена подпрограмма 6 «Регулирование бухгалтерского учета, отчетности и аудита в корпоративном секторе». В подпрограмме определена одна из целей и задач «Развитие системы нефинансовой отчетности в корпоративном секторе». Документом предусмотрена разработка и утверждение Концепции развития нефинансовой отчетности в период 2021–2024 гг. и плана мероприятий по ее реализации в период 2023–2024 гг. К 2025 г. количество организаций, составляющих нефинансовую отчетность должно составить 100 единиц [Грузневич Е.С., 2023].

Вопросы нефинансовой отчетности рассмотрены в научных работах белорусских ученых (Н. Веренько и А. Каменков, 2020; Г. Г. Виногоров, 2019; И. П. Деревяго, 2020; Н. В. Долматович, 2022). Авторы в своих трудах подчеркивают актуальность и необходимость ее развития в Республике Беларусь с целью повышения конкурентоспособности субъектов хозяйствования.

Важным инструментом продвижения принципов корпоративной устойчивости в стране выступает локальная сеть Глобального Договора ООН⁸.

Критерии, на основании которых предприятия обязаны или рекомендованы публиковать нефинансовую отчетность, не определены. Для их определения рекомендуется опираться на международный опыт и использовать:

- а) среднесписочную численность работников;
- б) выручку от реализации продукции, работ, услуг.

В Республике Беларусь существует порядка ста организаций, которые ведут социально ответственный бизнес и публикуют нефинансовую отчетность, примеры некоторых из них:

- производство продуктов питания, напитков и табачных изделий: ОАО «Пивоваренная компания Аливария», УП «Кока-Кола Бевриджиз Белоруссия», ЗАО «Минский завод безалкогольных напитков», Волковысское ОАО «Беллакт», ОАО «Криница», ЗАО «Бобрыйский бровар» и др.;
- деятельность в области телекоммуникаций: УП «А1», СООО «Мобильные Телесистемы» и др.;
- транспортная деятельность: СООО «Пролив» и др.;
- производство текстильных изделий, одежды, изделий из кожи и меха: СП ЗАО «Милавица» и др.;

⁸ <https://globalcompact.by/>.

– металлургическое производство: ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» и др.;

– финансовая и страховая деятельности: ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «Банк БелВЭБ», ЗАО «БСБ-БАНК», ОАО «Белинвестбанк», ЗАО «Альфа-Банк», ЗАО «МТ-Банк», ОАО «Сбер Банк», и др.;

– розничная торговля: ООО «Табак-инвест», ООО «Евроторг», ООО «ГРИНрозница» и др.;

– информационные технологии и деятельности в области информационного обслуживания: ООО «СофтТех», ООО «САП СНГ» и др. [Грузневич Е.С., 2022, с. 95].

Изучение нефинансовой отчетности белорусских субъектов хозяйствования позволяет выявить ее общие тенденции:

– большинством организаций, публикующих добровольную нефинансовую отчетность, используют стандарты GRI;

– часть организаций не используют стандарты для составления нефинансовой отчетности, а пользуются ключевыми принципами устойчивого развития и ESG для ее формирования;

– предприятия размещают отчеты на своих официальных сайтах;

– нефинансовая отчетность не верифицируется;

– в подавляющем большинстве нефинансовых отчетов содержатся количественные показатели, касающиеся выполнения целевых KPI в области устойчивого развития.

Результаты исследования

На текущий момент Министерством экономики Республики Беларусь ведется работа по разработке национальных методических указаний по подготовке нефинансовой отчетности, которые, предположительно, будут иметь рекомендательный характер.

В связи с этим представляет интерес анализ существующей информационной базы у субъектов хозяйствования Республики Беларусь для возможности ее применения при использовании наиболее распространенных международных стандартов нефинансовой отчетности с целью учесть их при разработке национального подхода в данной области (таблицы 2–4).

У белорусских субъектов хозяйствования недостаточное внимание уделяется следующим темам, содержащимся в стандартах GRI: 201-3 «Обязательства по обязательным запланированным выплатам и пенсионным программам»; 203-2 «Значительные косвенные экономические последствия»; 302-2 Потребление энергии за

пределами организации»; 304-1 «Производственные площадки, находящиеся в собственности, аренде или управлении на охраняемых территориях и территориях с высокой ценностью биоразнообразия, за пределами охраняемых территорий или прилегающих к ним»; 304-3 «Охраняемые или восстановленные среды обитания»; 305-1 Прямые выбросы парниковых газов»; 305-2 «Энергетические косвенные выбросы парниковых газов»; 305-3 «Прочие косвенные выбросы парниковых газов»; 305-5 «Сокращение выбросов парниковых газов»; 305-6 «Выбросы озоноразрушающих веществ»; 306-4 «Отходы, отклоненных от захоронения»; 406-1 «Случаи дискриминации и принятые корректирующие меры»; 407-1 «Операции и поставщики, в которых право на свободу объединений и ведение коллективных переговоров может оказаться под угрозой»; 408-1 «Операции и поставщики, подвергающиеся значительному риску использования детского труда»; 409-1 «Операции и поставщики, подвергающиеся значительному риску случаев принудительного или обязательного труда»; 410-1 «Сотрудники службы безопасности, прошедшие подготовку по вопросам политики и процедур в области прав человека»; 411-1 «Случаи нарушений прав коренных народов»; 414-2 «Негативные социальные последствия в цепочке поставок и принятые меры»; 417-2 «Случаи несоблюдения требований в отношении информации и маркировки продуктов и услуг»; 417-3 «Случаи несоблюдения требований в отношении маркетинговых коммуникаций»; 418-1 «Обоснованные жалобы на нарушение конфиденциальности и потерю данных клиентов».

Исходя из проведенного анализа, можно отметить, что субъекты хозяйствования Республики Беларусь имеют информационную базу для раскрытия общих положений стандарта SASB, однако, это касается только тех организаций, которые занимаются вопросами ESG.

Таблица 4 наглядно демонстрирует, что все аспекты, содержащиеся в интегрированной отчетности IIRC (обзор организации и внешняя среда, корпоративное управление, бизнес-модель, риски и возможности, стратегия и распределение ресурсов, результаты деятельности, взгляды на будущее, основа подготовки и представления отчетности), возможно раскрыть субъектам хозяйствования Республики Беларусь. Для этого у них имеется достаточная информационная база. Однако, следует сделать оговорку на то, что такая база пока еще только формируется в организациях, которые занима-

Таблица 2 – Наличие информационной базы для раскрытия существенных тем стандартов GRI в отчетности субъектов хозяйствования Республики Беларусь

Table 2 – Data availability for disclosing material topics of GRI Standards in reports by business entities of the Republic of Belarus

Существенная тема	Информация о существенных темах в отчетности субъектов хозяйствования Республики Беларусь
GRI 201: Экономические показатели	Договоры добровольного пенсионного страхования; информация о государственной помощи, которая была оказана субъекту хозяйствования; информация об акционерах и собственниках организации; отчет о прибылях и убытках; пенсионные программы организации; экологическая отчетность; экологический паспорт организаций; карты рисков по оценке климатических изменений
GRI 202: Присутствие на рынке	Ведомости начисления заработной платы; данные отдела кадров; стратегические документы организации; корпоративные стандарты; отчет о заработной плате руководителей; отчет о просроченной задолженности по заработной плате; отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров; отчет по труду
GRI 203: Косвенное экономическое воздействие	Годовой отчет о вводе в эксплуатацию объектов, основных средств и использовании инвестиций в основной капитал; документы, определяющие стратегию развития организации; протоколы встреч с представителями местных сообществ
GRI 204: Практики закупок	Оборотно-сальдовые ведомости по счетам 07 «Оборудование к установке и строительные материалы», 10 «Материалы», 41 «Товары» субконто «отечественные»; план закупок товарных материальных ценностей
GRI 205: Противодействие коррупции, GRI 206: Неконкурентное поведение	Отчеты по антикоррупционному комплаенсу; политика по противодействию взяткам и коррупции; сведения о случаях коррупции в организации; сертификаты систем менеджмента борьбы со взяточничеством на соответствие требованиям СТБ ISO 37001-2020; данные отдела кадров; сертификаты и свидетельства сотрудников об обучении по вопросам противодействия коррупции; судебные иски о коррупции
GRI 207: Налоги	Документы, определяющие стратегию развития организации; документы, подтверждающие право на льготы по отдельным видам налогам; налоговые декларации; оборотно-сальдовые ведомости по счетам 18 «Налог на добавленную стоимость по приобретенным товарам, работа, услугам»; 68 «Расчета по налогам и сборам», 69 «Расчеты по социальному страхованию и обеспечению» и др.; политика организации в области налогообложения; протоколы проверок налоговых служб; сведения о просроченных суммах уплаченных налогов
GRI 301: Материалы	Оборотно-сальдовые ведомости по счетам 10 «Материалы», 20 «Основное производство», 25 «Общепроизводственные расходы», 26 «Общехозяйственные расходы» и другим счетам затрат; отчет о затратах на производство и реализацию продукции (работ, услуг), экологический паспорт
GRI 302: Энергия	Бизнес-план организации; данные по реализации энергии другим субъектам хозяйствования; доведенные вышестоящими организациями показатели по снижению энергопотребления; оборотно-сальдовые ведомости по счетам 10 «Материалы», 20 «Основное производство», 25 «Общепроизводственные расходы», 26 «Общехозяйственные расходы» и другим счетам затрат; первичные бухгалтерские документы по списанию энергоносителей; топливно-энергетический баланс организации; отчет о затратах на производство и реализацию продукции (работ, услуг), экологический паспорт

Продолжение таблицы 2 – Наличие информационной базы для раскрытия существенных тем стандартов GRI в отчетности субъектов хозяйствования Республики Беларусь

Continuation of the Table 2 – Data availability for disclosing material topics of GRI Standards in reports by business entities of the Republic of Belarus

GRI 303: Вода и сбросы	Стандарты экологической безопасности организации в области управления водными ресурсами; данные экологической экспертизы, проведенной сторонними организациями по управлению водными ресурсами; отчет об использовании воды; экологический паспорт
GRI 304: Биоразнообразие	Карты рисков по биоразнообразию; мероприятия по сохранению биоразнообразия; паспорт организации; планы по биоразнообразию; экологический паспорт
GRI 305: Выбросы	Данные экологической экспертизы, проведенной сторонними организациями по управлению выбросами; отчет о выбросах в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов; отчет об использовании воды; политика в области управления выбросами парниковых газов; стандарты экологической безопасности организации в области управления выбросами; экологический паспорт
GRI 306: Отходы	Бизнес-планы организаций; внутренние отчеты об обращении с отходами в организации; планы по материалосбережению; стратегические документы организации; отчет об обращении с отходами производства; политики и цели в области обращения с отходами; технологические карты изделий
GRI 308: Экологическая оценка поставщиков	Критерии оценки поставщиков, в том числе на соответствие экологических критериев; результаты оценки поставщиков
GRI 401: Занятость	Отчет о средствах бюджета государственного внебюджетного фонда социальной защиты населения Республики Беларусь; отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров; программа добровольного медицинского страхования и других форм медицинского обслуживания для работников; программа пенсионного страхования; прочие социальные программы
GRI 402: Взаимоотношения сотрудников и руководства	Коллективный договор, контракты, трудовые договоры
GRI 403: Охрана труда и безопасность	Журнал регистрации несчастных случаев и профессиональных заболеваний; карты опасностей и рисков; направления нанимателя на медицинский осмотр; инструкции по охране труда для профессий и видов работ (услуг); программа обучения по вопросам охраны труда; план мероприятий по охране труда; нормы бесплатного обеспечения работников средствами индивидуальной защиты; положение о комиссии по контролю качества средств индивидуальной защиты; личная карточка учета средств индивидуальной защиты и иные документы
GRI 404: Обучение и образование	Отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров; данные отдела кадров; информация об обучении сотрудников (по типам и объемам программ)
GRI 405: Разнообразие и равные возможности	Ведомости начисления заработной платы; отчет по труду; отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров; данные отдела кадров

Окончание таблицы 2 – Наличие информационной базы для раскрытия существенных тем стандартов GRI в отчетности субъектов хозяйствования Республики Беларусь

End of Table 2 – Data availability for disclosing material topics of GRI Standards in reports by business entities of the Republic of Belarus

GRI 406: Недопущение дискриминация	Информация не раскрывается
GRI 407: Свобода объединений и ведения коллективных переговоров	Информация не раскрывается
GRI 408: Детский труд	Отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров
GRI 409: Принудительный или обязательный труд	Информация не раскрывается
GRI 410: Практики обеспечения безопасности	Информация не раскрывается
GRI 411: Права коренных народов	Информация не раскрывается
GRI 413: Местные сообщества	Анкетирование местных сообществ; информация о благотворительных программах; информация о каналах связи с местным сообществом; организационная структура организации; должностные инструкции; политика по взаимодействию с местным сообществом; протоколы встреч с местным сообществом
GRI 414: Социальная оценка поставщиков	Критерии оценки поставщиков, в том числе на соответствие социальным критериям; результаты оценки поставщиков
GRI 415: Государственная политика	Информация не раскрывается
GRI 416: Здоровье и безопасность потребителя	Декларации соответствия; жалобы потребителей; мероприятия по обеспечению качества продукции, товаров, работ, услуг; политика в области качества; план качества; рекламации к качеству продукции; сертификаты соответствия
GRI 417: Маркетинг и маркировка	Регламентируется законодательством
GRI 418: Конфиденциальность потребителя	Информация не раскрывается

Источник: составлено автором на основе³.

Таблица 3 – Наличие информационной базы для раскрытия общих положений стандарта SASB у субъектов хозяйствования Республики Беларусь

Table 3 – Data availability for disclosing the core requirements of the SASB Standard for business entities of the Republic of Belarus

Аспекты	Параметры раскрытия	Источник информации у субъектов хозяйствования Республики Беларусь
Окружающая среда	Выбросы парниковых газов	Отчет о выбросах загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов; политика в области управления выбросами парниковых газов; экологический паспорт организаций
	Качество воздуха	
	Управление энергией	Бизнес-план организации; оборотно-сальдовые ведомости по соответствующим счетам затрат; оперативные данные организации об источниках энергии; планы по энергосбережению; отчет о затратах на производство и реализацию продукции (работ, услуг); политика в области управления энергией; сведения о нормах расхода / предельных уровнях потребления ТЭР; сведения о нормах расхода ТЭР на производство продукции (работ, услуг)
	Управление водоснабжением и сточными водами	Отчет об использовании воды; политика, планы, цели в области управления водоснабжением и сточными водами; экологический паспорт организации
	Управление отходами и опасными материалами	Отчет об обращении с отходами производства; политика, планы, цели в области обращения с отходами; экологический паспорт организации
	Экологическое воздействие	Декларации о воздействии на окружающую среду, о составе и свойствах сточных вод, о плате за негативное воздействие на окружающую среду; отчет об организации и результатах осуществления производственного экологического контроля; разрешения надзорных органов; результаты экологического аудита в организации; экологическая статистическая и оперативная отчетность
Социальный капитал	Права человека и общественные отношения	Корпоративные стандарты в области устойчивого развития; политика в области прав человека, по противодействию взяткам и коррупции, по взаимодействию с местными сообществами; стратегические документы организации; информация о благотворительных пожертвованиях, выплатах и взносах
	Конфиденциальность клиентов	Положение о соблюдении коммерческой тайны; информация о случаях утечки информации и меры по их предотвращению
	Безопасность данных	Документация по обслуживанию систем безопасности; журналы протоколирования событий системы безопасности; заключение аудита информационной безопасности; отчеты о прошлых инцидентах безопасности; политика информационной безопасности; регламенты и инструкции по обеспечению информационной безопасности; реестр пользователей и их прав доступа к информационным ресурсам; список активов, содержащих конфиденциальную информацию
	Доступ и доступность	
	Качество и безопасность продукции	Декларации соответствия; мероприятия по обеспечению качества продукции, товаров, работ, услуг; план качества; политика в области качества; сертификаты соответствия
	Благополучие клиентов	Бизнес-план организации; информация о маркировке продукции; результаты исследования рынка и конкурентов; отчет о прибылях и убытках; политика организации в отношении потребителей; протоколы встреч с представителями потребителей и/или конечных пользователей продукта
	Практика продаж и маркировка продукции	

Окончание таблицы 3 – Наличие информационной базы для раскрытия общих положений стандарта SASB у субъектов хозяйствования Республики Беларусь

End of Table 3 – Data availability for disclosing the core requirements of the SASB Standard for business entities of the Republic of Belarus

Человеческий капитал	Трудовая практика	Ведомости начисления заработной платы; внутренние документы, определяющие политику в области управления рисками и внутреннего контроля; данные отдела кадров; документы, определяющие стратегию развития организации; кодекс корпоративной (деловой) этики; коллективный договор; корпоративные стандарты в области устойчивого развития; отчет о заработной плате руководителей; отчет по труду; отчет о просроченной задолженности по заработной плате; отчет о численности, составе и профессиональном обучении кадров
	Здоровье и безопасность сотрудников	Отчет о средствах бюджета государственного внебюджетного фонда социальной защиты населения Республики Беларусь; отчет о численности потерпевших при несчастных случаях на производстве; программа добровольного медицинского страхования и других форм медицинского обслуживания для работников, программа пенсионного страхования; прочие социальные программы
	Вовлеченность сотрудников, разнообразие и инклюзивность	Политика равенства, разнообразия и инклюзии организации; программы амбассадорства; прочие документы
Бизнес-модель и инновации	Проектирование продукта и управление жизненным циклом	Результаты добровольной сертификации; модели (чертежи) заготовок; конструкторская документация на средства технологического оснащения; технологическая документация; результаты контроля проведения испытаний и обследований продукции
	Устойчивость бизнес-модели	
	Управление цепочками поставок	Анкетируемые представители цепочек поставок; документы, определяющие стратегию развития организации; кодекс корпоративного поведения; политика по взаимодействию с поставщиками и покупателями; политика по противодействию взяткам и коррупции; протоколы встреч с поставщиками и покупателями
	Поиск материалов и эффективность	
Лидерство и управление	Физические последствия изменения климата	Экологическая отчетность; экологический паспорт организаций; экологические планы организации; карты рисков по оценке климатических изменений
	Деловая этика	Документы, регламентирующие дивидендную политику; кодекс корпоративного управления и деловой этики; положения о правлении, о службе внутреннего контроля и управления рисками, о совете директоров (наблюдательном совете), об исполнительных органах; положения о комитетах при совете директоров; отчеты службы внутреннего аудита, комитета по этике; положение о вознаграждении и выплате компенсаций членам совета директоров и другие
	Конкурентное поведение	Внутренний документ, определяющий порядок организации и проведения общего собрания акционеров (участников); долго- и среднесрочная стратегия, бизнес-планы, иные стратегические документы
	Управление нормативно-правовой средой	Годовые финансовые отчеты; налоговые декларации; аудиторские заключения и прочие
	Управление рисками критических инцидентов	Внутренние документы, определяющие политику в области управления рисками и внутреннего контроля; отчеты по антикоррупционному комплаенсу; положение о подразделении по управлению рисками или должностная инструкция риск-менеджера
	Управление системными рисками	

Источник: составлено автором на основе⁴.

Таблица 4 – Наличие информационной базы для раскрытия вопросов стандарта IIRC у субъектов хозяйствования Республики Беларусь

Table 4 – Data availability for disclosing framework requirements of the IIRC Guidelines in reports by business entities of the Republic of Belarus

Элемент отчетности	Информация для раскрытия	Информационная база для раскрытия вопросов стандарта у субъектов хозяйствования Республики Беларусь
Обзор организации и внешняя среда	Информация об организации в отношении ее: культуры, этических принципов и ценностей; собственности и операционной структуры; основных видов деятельности и рынков; конкурентной среды и рыночного позиционирования; положения в цепочке создания стоимости	Бухгалтерская отчетность; долго- и среднесрочная стратегия, бизнес-планы, иные стратегические документы; кодекс корпоративного управления и (деловой) этики; корпоративные стандарты в области устойчивого развития; отчеты службы внутреннего аудита, комитета по этике и дисциплине; статистическая отчетность
	Ключевая количественная информация (например, количество работников, выручка, количество стран, в которых организация ведет свою деятельность)	
	Значимые факторы, оказывающие влияние на внешнюю среду, и реакция организации на них	Бизнес-план организации; результаты анализа внешней среды
Корпоративное управление	Структура и состав руководства организации, включая навыки и разнообразие среди лиц, отвечающих за корпоративное управление, а также наличие и характер регуляторных требований, влияющих на структуру управления	Документы, регламентирующие дивидендную политику; кодекс корпоративного управления и деловой этики; корпоративные стандарты в области устойчивого развития; обоснование независимости отдельных членов совета директоров; положение о правлении, о совете директоров (наблюдательном совете), об исполнительных органах, о комитетах при совете директоров; структура собственности организации (список лиц, под контролем либо значительным влиянием которых находится организация)
	Конкретные процессы, используемые для принятия стратегических решений, а также для создания и мониторинга культуры организации, включая отношение к риску и способы разрешения проблем добросовестного поведения и этических проблем	
	Конкретные действия, предпринятые лицами, отвечающими за корпоративное управление, для влияния на стратегическое управление организацией и ее подход к управлению рисками	
	Внедряет ли организация практики корпоративного управления сверх рамок правовых требований	Кодекс корпоративного управления и деловой этики; корпоративные стандарты в области устойчивого развития
	Ответственность лиц, отвечающих за корпоративное управление, за продвижение и создание условий для инноваций	
	Как вознаграждение и стимулы связаны с созданием стоимости в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе, включая то, как они связаны с использованием организацией капиталов, влияют на организацию	Стратегические документы организации; положение о вознаграждении и выплате компенсаций членам совета директоров; положение о премировании и выплатах стимулирующего характера
Бизнес-модель	Бизнес-модель, в том числе: используемые ресурсы; виды коммерческой деятельности; продукты; итоги деятельности	Бухгалтерская отчетность, стратегические документы организации, оперативные данные организации, сертификаты ISO; статистическая отчетность

Окончание таблицы 4 – Наличие информационной базы для раскрытия вопросов стандарта IIRC у субъектов хозяйствования Республики Беларусь

End of Table 4 – Data availability for disclosing framework requirements of the IIRC Guidelines in reports by business entities of the Republic of Belarus

Риски и возможности	Присущие организации ключевые риски и возможности, связанные с влияниями организации на соответствующие капиталы и с дальнейшим наличием, качеством и доступностью таких капиталов в краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективе	Внутренние документы, определяющие политику в области управления рисками и внутреннего контроля; отчеты по антикоррупционному комплаенсу; положения о подразделениях по управлению рисками/должностная инструкция риск-менеджера
Стратегия и распределение ресурсов	Краткосрочные, среднесрочные и долгосрочные стратегические цели организации; измерение достижений и целевых итогов деятельности за краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды	Документы, определяющие стратегию развития организации: долго- и среднесрочная стратегия, бизнес-планы на текущий и следующий годы, иные стратегические документы
Результаты деятельности	Качественная и количественная информация о результатах деятельности, в том числе: количественные показатели в отношении целевых показателей, рисков и возможностей, с пояснением их значимости, их последствий, а также методов и допущений, использованных при их подготовке	Бухгалтерская отчетность; внутренние документы, определяющие политику в области управления рисками и внутреннего контроля; отчеты по антикоррупционному комплаенсу; положение о подразделении по управлению рисками/должностная инструкция риск-менеджера, статистическая отчетность
	Влияние (как положительное, так и отрицательное), которое организация оказывает на капиталы, включая существенное влияние на капиталы по всей цепочке создания стоимости	
	Состояние отношений с ключевыми заинтересованными сторонами и то, как организация реагирует на правомерные потребности и интересы ключевых заинтересованных сторон	Протоколы встреч с заинтересованными сторонами; описание каналов связи с заинтересованными сторонами
	Связи между результатами деятельности в прошлом и настоящем, между текущими результатами деятельности и взглядами на будущее	Статические документы организации
Взгляды на будущее	Информация об ожиданиях организации в отношении внешней среды, о том, как организация в настоящее время подготовлена для реагирования на важнейшие вызовы и неопределенности, которые могут возникнуть в будущем	Бизнес-план организации; статические документы организации; результаты анализа внешней среды и внутренней среды
Основа подготовки и представления отчетности	Краткое изложение процесса определения существенности, применяемого организацией	Документы, определяющие стратегию развития организации; протоколы встреч рабочей группы по устойчивому развитию; результаты опроса заинтересованных сторон
	Описание периметра отчетности и того, как он был определен	
	Краткое изложение основных подходов и методов, использованных для количественной и качественной оценки существенных факторов	

Источник: составлено автором на основе⁵.

ются вопросами ESG, а это в основном представители крупного бизнеса.

Выводы

Большинство экономических субъектов Республики Беларусь ведут только отчетность, обязательную для составления и отчета в органах государственной статистики, налоговых органах и прочих вышестоящих организациях в рамках существующих систем бухгалтерского учета. Причиной такой ситуации является высокая стоимость сбора информации об устойчивом развитии и непонимание выгод предприятиями в подготовке нефинансовой отчетности, составление которой для субъектов хозяйствования Республики Беларусь является новшеством. В этой связи информационная база для ее формирования только начинается разрабатываться ими. Немногочисленные белорусские субъекты хозяйствования (порядка ста организаций), которые добровольно составляют нефинансовую отчетность в основном используют стандарт GRI, однако отражают информацию весьма в сжатом виде. В основном информация, представленная в нефинансовой отчетности базируется на статистической и бухгалтерской отчетности, которая недостаточна для раскрытия информации об устойчивом развитии.

Для повышения полноты информационной базы предприятиям предлагается разрабатывать и утверждать внутренние локальные нормативные правовые акты по стратегии, политики, целям и мероприятиям по устойчивому развитию и ESG и размещать их в открытом доступе для ознакомления с ними заинтересованных сторон. Повышать аналитичность используемых в

организациях программных продуктов по ведению бухгалтерского учета. Разрабатывать методические документы в области нефинансовой отчетности (например, порядок определения существенных тем, шаблоны отчетных форм нефинансовой отчетности, перечень показателей, раскрываемых в них и методологию их расчета, предполагаемую структуру). Внедрять в деятельность организаций системы управления бизнес-процессами (BI-системы). Повышать уровень автоматизации составления нефинансовой отчетности. Привлекать при необходимости внешних консультантов для проектирования структуры и содержания нефинансовой отчетности, а также ее дизайна и верстки. Вести Telegram-канал и тематический раздел на корпоративном сайте для публикации событий и результатов деятельности организации в области устойчивого развития и ESG, что позволит кратко аккумулировать информацию и создать основу для отражения ее в нефинансовой отчетности. Вводить в штатную структуру специалиста, в функциональные обязанности которого включается составление нефинансовой отчетности.

Таким образом, учитывая низкую активность белорусских предприятий в сфере устойчивого развития и ESG, на начальном этапе подготовки нефинансовой отчетности следует разработать соответствующие рабочие документы.

Результаты исследования могут быть использованы органами государственного управления при разработке национального подхода к формированию методических рекомендаций по подготовке нефинансовой отчетности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Веренько, Н., Каменков, А. (2020). «Зеленая» экономика в Республике Беларусь: ЦУР, инструменты, перспективы развития. *Банковский вестник*. 6, с. 56–65.

Виногоров, Г.Г. (2019). Опыт и проблемы внедрения в практику работы белорусских субъектов хозяйствования составления отчетности в области устойчивого развития и ее анализа. *Проблемы управления хозяйствующими субъектами в информационном обществе: материалы 8-го Междунар. науч.-практ. интернет-семинара*, Минск, с. 39–45.

Горбунова, Н.А. (2022). Корпоративная публичная отчетность: структура, виды, направления совершенствования. *Научный журнал «Управленческий учет»*, 11, с. 196–207.

Грузневич, Е.С. (2022). Механизм устойчивого развития организации: сущность, основные элементы и их содержание. *Актуальные вопросы соврем. экономики: мат. Междунар. науч.-практ. конф.* Изд-во БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, С.-Петербург. с. 92–95.

Грузневич, Е.С. (2023). Модель архитектуры управления устойчивым развитием Республики Беларусь на основе инфраструктуры ESG. *Банковский вестник*. № 9 (722), с. 46–55.

Гусарова, Л.В. (2024). Нефинансовая отчетность: проблемные вопросы методологии составления. *Современная экономика: проблемы и решения*, 6, с. 133–147.

Деревяго, И.П. (2020). Условия и возможности перехода экономики к зеленому росту. *Белорус. экон. журн.*, 4, с. 20–35.

Долматович, Н.В. (2022). Отчетность об устойчивом развитии как одна из форм нефинансовой отчетности: понятие, содержание, практика применения в других странах. *Молодежь в науке и предпринимательстве: сборник научных статей XI международного форума молодых ученых*, Гомель, с. 128–133.

Ефимова, О.В. (2018). Формирование отчетности об устойчивом развитии: этапы и процедуры подготовки. *Учет. Анализ. Аудит*. 5 (3), с. 40–53.

Капустина, И.А. (2023). Нефинансовая отчетность и заинтересованные стороны корпораций. *Современная экономика: проблемы и решения*, 1, с. 84–97.

Моисеева, Е.Н. (2019). Опыт формирования нефинансовых отчетов на предприятиях. *Учет. Анализ. Аудит*. 6, с. 76–86.

Национальный ESG Альянс, Kept (2022). *Открывая новые горизонты: ESG-новостка в Азиатско-Тихоокеанском регионе и на Ближнем Востоке*. Национальный ESG Альянс, Kept, доступно по: https://esgworld.ru/wp-content/uploads/2022/07/issledovanie_otkryvaya_novye_gorizonty_esg_kept_alliance.pdf (дата доступа: 18 августа 2024).

Сенаторова, Е.А. (2018). Нефинансовая отчетность: международный контекст, российская практика, *Journal of Corporate Finance Research / Корпоративные Финансы*, ISSN: 2073-0438, 12(3), с. 80–92.

Coppoletta, F.N., Zangara, G., Cosma, A. Coppoletta, F.N. and Filice, L. (2024). Non-Financial Reporting in Smes: a New Approach to Measure Corporate Well-Based on Employee, *Procedia Computer Science*, 232, pp. 1025–1034. DOI:10.1016/j.procs.2024.01.101.

Hahn, R. and Kühnen, M. (2013). Determinants of sustainability reporting: a review of results, trends, theory, and opportunities in an expanding field of research, *Journal of Cleaner Production*, 59, pp. 5–21. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.07.005.

Kulkarni, R. (2014). A Review of Concept and Reporting of Non-financial Initiatives of Business Organisations, *Procedia Economics and Finance*, 11, pp. 33–41. DOI:10.1016/S2212-5671(14)00173-7.

Rossi, P. and Candio, P. (2023). The independent and moderating role of choice of non-financial reporting format on forecast accuracy and ESG disclosure, *Journal of Environmental Management*, 345, 118891, ISSN 0301-4797. DOI:10.1016/j.jenvman.2023.118891.

Shad, M.K. Lai, F.-W. and Klemeš, J.J. (2019). Integrating sustainability reporting into enterprise risk management and its relationship with business performance: A conceptual framework, *Journal of Cleaner Production*, 208, pp. 415–425. DOI:10.3390/su132212788.

Turzo, T., Marzi, G., Favino, C. and Terzani, S. (2024). Non-financial reporting research and practice: Lessons from the last decade, *Journal of Cleaner Production*, 345, 131154, ISSN 0959-6526. DOI:10.31617/1.2023(149)06.

REFERENCES

Verenko, N. and Kamenkov, A. (2020). The "green" economy in the Republic of Belarus: CUR, tools, development prospects [Zelenaya» ekonomika v Respublike Belarus': CUR, instrumenty, perspektivy razvitiya]. *Bankovskij vestnik = Banking Bulletin*, no. 6, pp. 56–65 [In Russian].

Vinogorov, G.G. (2019). The experience and problems of implementing sustainable development reporting and analysis in the practice of Belarusian business entities [Opyt i problemy vnedreniya v praktiku raboty belorusskikh sub"ektov hozyajstvovaniya sostavleniya otchetnosti v oblasti ustojchivogo razvitiya i ee analiza]. *Problems of managing business entities in the Information Society: proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. Internet Seminar*, Minsk, pp. 39–45 [In Russian].

Gorbunova, N.A. (2022). Corporate public reporting: structure, types, directions of improvement [Korporativnaya publichnaya otchetnost': struktura, vidy, napravleniya sovershenstvovaniya]. *Nauchnyj zhurnal «Upravlencheskiy uchet» = Scientific journal "Management Accounting"*, no. 11, pp. 196–207 (In Russian).

Gruznevich, E.S. (2022). The mechanism of sustainable development of the organization: essence, basic elements and their content [Mekhanizm ustojchivogo razvitiya organizacii: sushchnost', osnovnye elementy i ih sodержanie]. *Actual issues are modern. Economics: Mat. International. Scientific and practical. Conf.* Publishing House of BSTU "Voenmekh" named after D.F. Ustinova, St. Petersburg, pp. 92–95 (In Russian).

Gruznevich, E.S. (2023). Model of the Architecture of Sustainable Development Management of the Republic of Belarus based on ESG infrastructure [Model' arhitektury upravleniya ustojchivym razvitiem Respubliki Belarus' na osnove infrastruktury ESG]. *Bankovskij vestnik = Banking Bulletin*, no. 9 (722), pp. 46–55 (In Russian).

Gusarova, L.V. (2024). Non-financial reporting: problematic issues of the preparation methodology [Nefinansovaya otchetnost': problemnye voprosy metodologii sostavleniya]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern economics: problems and solutions*, no. 6, pp. 133–147 (In Russian).

Derevyago, I.P. (2020). Conditions and possibilities of transition of the economy to green growth [Usloviya i vozmozhnosti perekhoda ekonomiki k zelenomu rostu]. *Belorus. ekon. zhurn. = Belarusian. Econ. Journal*, no. 4, pp. 20–35 (In Russian).

Dolmatovich, N.V. (2022). Reporting on sustainable development as one of the forms of non -financial reporting: concept, content, practice of application in other countries [Otchetnost' ob ustojchivom razvitii kak odna iz form nefinansovoj otchetnosti: ponyatie, sodержanie, praktika primeneniya v drugih stranah]. *Youth in science and entrepreneurship: Sat. scientific. Art. XI Intern. Forum of young scientists*, Gomel, pp. 128–133 (In Russian).

Efimova, O.V. (2018). Formation of reporting on sustainable development: Stages and preparation procedures [Formirovanie otchetnosti ob ustojchivom razvitii: etapy i procedury podgotovki]. *Uchet. Analiz. Audit = Accounting. Analysis. Audit*, no. 5 (3), pp. 40–53 (In Russian).

Kapustina, I.A. (2023). Non-financial reporting and interested parties of corporations [Nefinansovaya otchetnost' i zainteresovannye storony korporacij]. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya = Modern economics: problems and solutions*, no. 1, pp. 84–97 (In Russian).

Moiseeva, E.N. (2019). Experience in the formation of non -financial reports in enterprises [Opyt formirovaniya nefinansovykh otchetov na predpriyatiyah]. *Uchet. Analiz. Audit. = Accounting. Analysis. Audit*, no. 6, pp. 76–86 (In Russian).

National ESG Alliance, Kept (2022). *Opening new horizons: ESG-style in the Asia-Pacific region and in the Middle East* [Otkryvaya novye gorizonty: ESG-povestka v Aziatsko-Tihookeanskom regione i na Blizhnem Vostoke]. National ESG Alliance, Kept, Available in: https://esgworld.ru/wp-content/uploads/2022/07/isslesledovanie_otkryvay_novye_gorizonty_esg_kept_alliance.pdf (access date: 18 August, 2024) (In Russian).

Senatorova, E.A. (2018). Nonfinance reports: international context, Russian practice, Journal of corporate finance Research [Nefinansovaya otchetnost': mezhdunarodnyj kontekst, rossijskaya praktika]. *Journal of Corporate Finance Research = Korporativnye Finansy*, ISSN: 2073-0438, no 12 (3), pp. 80–92 (In Russian).

Coppoletta, F.N., Zangara, G., Cosma, A. Coppoletta, F.N. and Filice, L. (2024). Non-Financial Reporting in Smes: a New Approach to Measure Corporate Well-Based on Employee, *Procedia Computer Science*, 232, pp. 1025–1034. DOI:10.1016/j.procs.2024.01.101.

Hahn, R. and Kühnen, M. (2013). Determinance of Sustainability Reporting: A Review of Results, Trends, Theory, and Opportunities in An Expanding Field of Research, *Journal of Cleaner Production*, no. 59, pp. 5–21. DOI:10.1016/j.jclepro.2013.07.005.

Kulkarni, R. (2014). A Review of Concept and Reporting of Non-Financial Initiatives of Business Organisations, *Procedia Economics and Finance*, no. 11, pp. 33–41. DOI:10.1016/S2212-5671(14)00173-7.

Rossi, P. and Candio, P. (2023). The Independent and Moderating Role of Choice of non-Financial Reporting Format on Forecuracy and ESG Disclosure, *Journal of Environment Management*, 345, 118891, ISSN 030 1-4797/ DOI:10.1016/j.jenvman.2023.118891.

Shad, M.K. Lai, F.-W. and Klemeš, J.J. (2019). Integrating sustainability reporting into enterprise risk management and its relationship with business performance: A conceptual framework, *Journal of Cleaner Production*, 208, pp. 415–425.

DOI:10.3390/su132212788.

Turzo, T., Marzi, G., Favino, C. and Terzani, S. (2024). Non-financial reporting research and practice: Lessons from the last decade, *Journal of Cleaner Production*, 345, 131154, ISSN 0959-6526. DOI:10.31617/1.2023(149)06.

Информация об авторах

Information about the authors

Грузневич Екатерина Сергеевна

Кандидат экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: gruzs@mail.ru

Katsiaryna S. Gruznevich

Candidate of Science (in Economics), Senior Lecturer of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.
E-mail: gruzs@mail.ru

Экономико-статистическое исследование влияния цифровизации на инновационную активность организаций промышленности Союзного государства

Г. А. Яшева, Ю. Г. Вайлунова,
Е. Ю. Вардомацкая, О. М. Шерстнева

Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь

Аннотация. В статье представлены результаты исследования влияния цифровизации на инновационную активность промышленных организаций Республики Беларусь и Российской Федерации. Актуальность исследований обусловлена необходимостью в определении технологий цифровизации, влияющих на инновационную активность организаций и разработки направлений цифровизации промышленных организаций Союзного государства.

Цель исследования – выполнить анализ и оценить степень влияния инструментов цифровизации на инновационную активность организаций промышленности регионов Союзного государства России и Беларуси, разработать направления по использованию инструментов цифровизации в промышленности Союзного государства.

Методы исследования – экономико-статистические методы: корреляционно-регрессионный анализ.

Эмпирическая база – официальная статистика, размещенная на сайте Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации и на сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь. По результатам проведенного корреляционно-регрессионного анализа выявлено, что существует зависимость между элементами цифровизации и результирующими показателями инновационной деятельности. Наиболее важными элементами цифровизации являются цифровые платформы и искусственный интеллект. Разработаны рекомендации по использованию инструментов цифровизации в организациях промышленности Союзного государства: цифровых промышленных платформ, искусственного интеллекта, промышленного Интернета вещей.

Научная новизна исследований состоит в получении эмпирической оценки степени влияния направлений цифровизации на инновационную активность промышленных организаций регионов Российской Федерации и Республики Беларусь, а также в обосновании инструментов цифровизации, которые оказывают наибольшее влияние на инновационную активность промышленных организаций. Практическая значимость заключается в разработке стратегии инновационного развития организации, а также дорожной карты по цифровой трансформации промышленных организаций Союзного государства.

Ключевые слова: цифровизация, инновационная активность, цифровые платформы, искусственный интеллект, организации промышленности, инструменты цифровизации.

Информация о статье: поступила 10 февраля 2025 года.

Economic and statistical study of the impact of digitalization on innovation activity of industrial organizations of the Union State

Galina A. Yasheva, Yulia G. Vailunova,
Elena Yu. Vardomatskaya, Olga M. Sherstneva

Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus

Abstract. The article presents the results of a study on the impact of digitalization on the innovation activity of industrial organizations in the Republic of Belarus and the Russian Federation. The relevance of the research is due to the need to identify digitalization technologies that affect the innovation activity of organizations and establish digitalization strategies for industrial organizations within the Union State.

The objective of the study is to analyze and assess the degree of influence of digitalization tools on the innovation activity in industrial organizations across the Union State regions of Russia and Belarus, as well as to propose strategies for their application in the industrial sector of the Union State.

Research methods include economic and statistical methods, specifically correlation and regression analysis.

The empirical data were sourced from the official websites of the Federal State Statistics Service of the Russian Federation and the National Statistical Committee of the Republic of Belarus. Correlation and regression analysis revealed statistically significant relationships between digitalization elements of and key innovation performance indicators. The most significant elements are digital platforms and artificial intelligence. Recommendations propose the adoption of specific digitalization tools in Union State industrial organizations including digital industrial platforms, artificial intelligence, and the Industrial Internet of Things.

The scientific novelty of the research lies in the empirical qualification of digitalization's impact on innovation activity across regions of the Russian Federation and Belarus, as well as in identifying the most impactful digitalization tools. The practical significance involves the creation of an innovative development strategy and a digital transformation roadmap for Union State industrial organizations.

Keywords: digitalization, innovative activity, digital platforms, artificial intelligence, industrial organizations, digitalization tools.

Article info: received February 10, 2025.

Введение

Республика Беларусь и Российская Федерация являются государствами – участниками Договора о создании Союзного государства от 8 декабря 1999 года. В соответствии с договором Республика Беларусь и Российская Федерация поставили перед собой ряд важных ориентиров, один из которых – создание единого экономического пространства. В соответствии с этим договором унифицируется законодательство, регулирующие экономические процессы. В этой связи можно говорить о схожести экономик наших стран.

Все большее значение для обеспечения устойчивого развития и поддержания конкурентоспособности промышленности Союзного государства Беларуси и России приобретает внедрение инноваций и расширение применения цифровых технологий.

Так в документе «Основные направления реализации положений договора о создании Союзного государства на 2024–2026 годы» (утверждены Декретом Высшего Государственного Совета Союзного государства от 29 января 2024 г. № 2) обозначены следующие направления по формированию общего информационного пространства Союзного государства:

– п. 8.6 «Выработка предложений по использованию технологий искусственного интеллекта в сферах здравоохранения, промышленности, торговли и др.»;

– п. 8.7. «Реализация совместных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в целях создания эксклюзивных на межгосударственном уровне ИКТ – решений и технологий, а также проработка вопроса создания совместных белорусско-российских произ-

водств высокотехнологичной продукции (серверного, телекоммуникационного, включая организацию производства 4G и 5G оборудования и иного оборудования)»¹.

Развитие промышленности в значительной степени определяет основные экономические тенденции в экономике Республики Беларусь и Российской Федерации. Промышленный комплекс формирует:

– более четверти ВВП (в Республике Беларусь в 2023 году – 27,5 %², в Российской Федерации – 30,65 %);

– промышленность формирует практически весь белорусский экспорт товаров, по итогам 2023 г. доля продукции промышленных предприятий Республики Беларусь в общем объеме экспорта товаров составила 94,1 %³;

– обеспечивает рабочими местами четверть экономически активного населения (доля занятого населения в промышленности в 2023 году – 24,0 % в Республике Беларусь, в Российской Федерации – 19,27 %)⁴.

¹ Основные направления реализации положений договора о создании Союзного государства на 2024–2026 годы (Декрет Высшего Государственного Совета Союзного государства от 29 января 2024 г. № 2).

² Беларусь в цифрах. Статистический справочник [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/da3/7qxxqqydg25c4gzug0emqtzx4lbdqcg.pdf>. – Дата доступа: 10.02.2025.

³ Какая сфера обеспечивает почти всю промышленность Беларуси [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ibmedia.by/news/za-schet-chego-derzhitsya-belorusskaya-promyshlennost/>. – Дата доступа: 10.02.2025.

⁴ О рынке труда в Евразийском экономическом союзе 2023 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://eec.eaeunion.org/upload/files/dep_stat/econstat/statpub/labourmarket_2023.pdf. – Дата доступа: 10.02.2025.

В ряде государственных программ, указов и законов в Республике Беларусь нашло отражение развитие:

- цифровизации: Закон Республики Беларусь «Об информации, информатизации и защите информации» (от 10 ноября 2008 г. № 455-З); Указ Президента Республики Беларусь «О некоторых вопросах информатизации» (от 2 декабря 2013 г. № 531); Декрет Президента Республики Беларусь «О развитии цифровой экономики» (от 21 декабря 2017 г. № 8); Постановление правительства о мерах по реализации Указа Президента Республики Беларусь «Об органе государственного управления в сфере цифрового развития и вопросах информатизации» (от 21 апреля 2023 г. № 280); Государственная программа «Цифровое развитие Беларуси» на 2021–2025 гг., (утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь 2 февраля 2021 г. № 66); Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292);

- инноваций: Указ Президента Республики Беларусь «О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы» (от 15 сентября 2021 г. № 348), Указ Президента Республики Беларусь «О приоритетных направлениях научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг.» (от 7 мая 2020 г. № 156); Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы (Указ Президента Республики Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292).

В частности, Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2025 г. предусматривает рост конкурентоспособности промышленного комплекса за счет задействования принципов концепции «Индустрия 4.0», развития смарт-индустрии в стране. Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на период до 2025 г. также содержит мероприятия, призванные ускорить цифровую трансформацию традиционных секторов экономики республики, а также создать условия для становления наукоемких и высокотехнологичных секторов белорусской экономики, необходимых для обеспечения ее долгосрочного роста на инновационной основе⁵.

В Российской Федерации отмечено:

- цифровое развитие в: Стратегии развития ин-

формационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы (Указ Президента Российской Федерации от 9 мая 2017 г. № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы», Программе «Цифровая экономика Российской Федерации» (распоряжение Правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р), Указе «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» (Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. № 309);

- инновационное развитие в: Федеральном законе Российской Федерации от 31.12.2014 № 488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации», Указе Президента Российской Федерации от 18.06.2024 № 529 «Об утверждении приоритетных направлений научно-технологического развития и перечня важнейших наукоемких технологий», Указе Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации», Указе Президента Российской Федерации от 07.05.2024 № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года», Распоряжении Правительства Российской Федерации от 20.05.2023 № 1315-р «Об утверждении Концепции технологического развития на период до 2030 года».

Вопросы цифровизации рассматривались в работах отечественных и зарубежных ученых:

- исследования в области цифровой трансформации – в работах: М. Ачаповской, Л.В. С.Д. Бодрюнова, Е.Н. Быковской, Ватлиной, Т.В. Касеовой, Ю.Н. Кафиятуллиной, В.А. Плотникова, Г.П. Харчилава и других;

- изучение факторов, которые влияют на процесс цифровой трансформации промышленности (А. Анчишкина, А.В. Бабкина, А. Гамбардела, В. Кулешова, Е. Макаровой, Б. Тагирова и других);

- вопросы инновационного развития и цифровизации экономики (Богдан Н.И., А. Гамбардела, Е. Макаровой, Касеовой Т.В. и других),

- направления цифровой интеграции – в работах: В.В. Вейбера, Л.М. Давиденко, И.А. Ермаковой, Ю.А. Ковальчук, А.В. Кудинова, С.С. Кузьминых, И.М. Степнова, Н.Г. Маркова, И.А. Толочко, Е.А. Яковлевой и других;

- цифровые инструменты (Big Data, искусственный интеллект, блокчейн, 3D-печать, Интернет вещей, нейросети для технологической интеграции предпри-

⁵ Указ Президента Республики Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 25 октября 2022 г. № 381).

ятий обрабатывающей промышленности) – работы: Е.В. Ванкевич, И.Н. Калиновской, Л.А. Родиной, И.А. Толочко, Е.А. Яковлевой и других.

В то же время, экономико-статистическое исследование влияния инструментов цифровизации на инновационную активность промышленных организаций с целью выбора наиболее эффективных для промышленных организаций инструментов цифровизации не достаточно прослеживается в предыдущих работах.

Цель исследования – выполнить анализ и оценить степень влияния инструментов цифровизации на инновационную активность организаций промышленности регионов Союзного государства России и Беларуси, разработать направления по использованию инструментов цифровизации в промышленности Союзного государства.

Основная гипотеза исследования – степень влияния инструментов цифровизации на инновационную активность организаций промышленности регионов Российской Федерации и Республики Беларусь достаточно высокая. Проверка гипотезы позволит выявить, какие инструменты цифровизации оказывают наибольшее влияние на инновационную активность организаций промышленности и обосновать направления цифровизации промышленности Союзного государства России и Беларуси.

Исходя из цели исследования, сформулированы следующие задачи:

- построить экономико-математические модели, описывающие влияние факторов-аргументов (показатели цифровизации организаций промышленности) на показатели эффекта (показатели инновационной активности организаций промышленности);
- разработать рекомендации по внедрению цифровых инструментов в организациях промышленности Союзного государства России и Беларуси.

Методы и средства исследований

Для оценки результативности процесса цифровизации в организациях промышленности предлагается использовать следующие показатели эффекта.

1. Доля инновационно-активных организаций промышленности в регионе ($Y1$).
2. Удельный вес инновационной продукции организаций промышленности в регионе ($Y2$).

Для обоснования выбора признаков-результатов инновационной активности организаций промышленности Союзного государства построены временные ряды

(рисунок 1, 2), позволяющие отследить тенденцию изменения рассматриваемых признаков-результатов во временном периоде доступной официальной статистики.

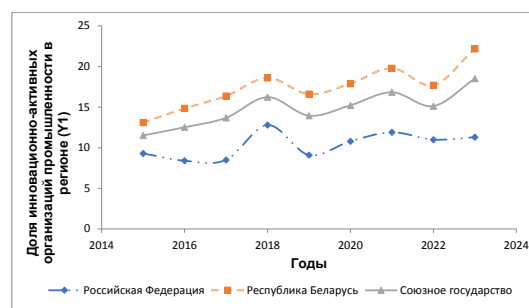


Рисунок 1 – Тенденция изменения доли инновационно-активных организаций промышленности в регионах Российской Федерации, Республики Беларусь и Союзного государства
Figure 1 – Trends of changing the share of innovative industrial organizations across regions of the Russian Federation, the Republic of Belarus and the Union State

Источник: составлено авторами.

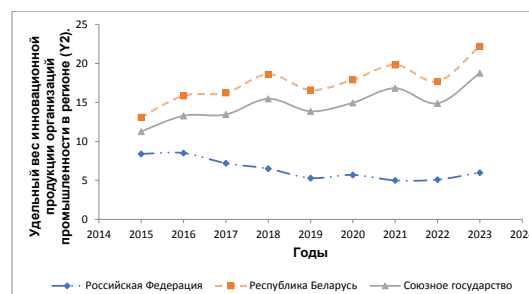


Рисунок 2 – Тенденция изменения удельного веса инновационной продукции организаций промышленности в регионах Российской Федерации, Республики Беларусь и Союзного государства
Figure 2 – Trends of changing the share of innovative products of industrial organizations across regions of the Russian Federation, the Republic of Belarus and the Union State

Источник: составлено авторами.

Приведенные рисунки 1, 2 иллюстрируют положительную динамику инновационной активности организаций промышленности в рассматриваемом периоде. Незначительные спады показателей в 2020–2021 годы объясняются объективными причинами (пандемия Covid, экономические санкции, как следствие – снижение деловой активности).

Ввиду сложности и многогранности процесса цифровизации, его результативность может быть оценена с точки зрения системного подхода, то есть системой показателей. Основным принципом построения системы показателей результативности цифровизации является информационная доступность, которая обеспечивается опубликованными данными государственных статистических наблюдений.

Поэтому в качестве факторов-аргументов были выбраны следующие.

1. Удельный вес организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет (**X1**).

2. Удельный вес организаций промышленности, имеющих веб-сайт (**X2**).

3. Удельный вес организаций промышленности, использовавших технологии искусственного интеллекта (**X3**).

4. Удельный вес организаций промышленности, использовавших цифровые платформы (**X4**).

Значимым элементом Индустрии 4.0 является Интернет вещей. Статистика в Республике Беларусь и Российской Федерации учитывает показатель «Удельный вес организаций, использовавших Интернет вещей» в целом по экономике, не выделяя использование Интернета вещей в промышленности, поэтому включить этот показатель в качестве фактора-аргумента в модели не представляется возможным.

Статистическая база формировалась на основе официальной статистики, размещенной на сайте Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации⁶ и на сайте Национального статистического комитета Республики Беларусь⁷.

Исследование цифровизации в организациях промышленности Республики Беларусь проводилось на

базе статистической информации по регионам: Брестской, Витебской, Гомельской, Гродненской, Минской, Могилевской областей и г. Минску.

В Российской Федерации в качестве данных регионов принята статистическая информация, по федеральным округам: Центральному, Северо-Западному, Южному, Северо-Кавказскому, Приволжскому, Уральскому, Дальневосточному, а также крупным современным научно-промышленным центрам – г. Москва и г. Санкт-Петербург.

Статистическая база формировалась по промышленным организациям в регионах Российской Федерации и Республики Беларусь с учетом указанных выше принципов построения системы показателей результативности цифровизации: информационная доступность (использовали показатели, которые есть в статистических сборниках Республики Беларусь и Российской Федерации); сопоставимость используемых показателей (использовали только те показатели, которые имеются в статистических сборниках обеих стран); однозначность интерпретации (единая методология показателей); учет эффекта цифровизации (единые показатели эффекта в странах Союзного государства Беларуси и России).

Метод исследования – экономико-статистические методы: корреляционно-регрессионный анализ.

Инструментарий исследования – табличный процессор MS Excel.

Период обследования: 2015 г., 2022 г. Выбор периода обследования обусловлен следующими обстоятельствами:

- во-первых, с 2015 года ведутся статистические наблюдения;

- во-вторых, последние актуальные данные по статистике цифровизации и инновационной активности представлены в свободном доступе за 2022 год;

- в-третьих, необходимость исследования динамики показателей и зависимостей.

Задача исследования – построить экономико-математические модели, описывающие влияние факторов-аргументов на показатели эффекта.

Результаты исследований

В ходе исследования влияния цифровизации на инновационную активность организаций промышленности были построены многофакторные регрессионные модели.

Модель 1. Доля инновационно-активных организаций промышленности региона (**Y1**) от факторов-аргументов:

⁶ Федеральная служба государственной статистики Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.gosstat.gov.ru/>. – Дата доступа: 10.02.2025.

⁷ Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 10.02.2025.

удельный вес организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет (**X1**); удельный вес организаций промышленности, имевших веб-сайт (**X2**); удельный вес организаций промышленности, использовавших технологии искусственного интеллекта (**X3**) и удельный вес организаций, использовавших цифровые платформы (**X4**) (формула 1):

$$Y1 = f(X1, X2, X3, X4). \quad (1)$$

Модель 2. Удельный вес инновационной продукции от факторов-аргументов: удельный вес организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет; удельный вес организаций промышленности, имевших веб-сайт; удельный вес организаций промышленности, использовавших технологии искусственного интеллекта и удельный вес организаций промышленности, использовавших цифровые платформы (формула 2):

$$Y2 = f(X1, X2, X3, X4). \quad (2)$$

Для каждого показателя эффекта процесса цифровизации в организациях промышленности этих регионов были построены корреляционные матрицы исследуемых показателей за соответствующий год и выбраны

факторы, которые, с одной стороны, тесно коррелируют с показателем эффекта, а с другой стороны, менее коррелируют между собой (для избежания явления коллинеарности). Затем на основании проведенного корреляционного анализа были рассчитаны экономико-математические регрессионные модели, описывающие влияние выбранных факторов-аргументов на результирующий показатель.

С учетом того, что в официальных базах данных Республики Беларусь за 2015 год не приводится статистическая информация по доле инновационно-активных организаций промышленности региона (**Y1**), оценка влияния цифровизации на инновационную активность организаций промышленности за этот год проводилась на основании статистической информации, представленной в официальных базах данных только Российской Федерации. Поэтому, при построении экономико-математической модели за этот год в качестве факторов-аргументов использованы удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет (**X1**) и удельный вес организаций, имевших веб-сайт (**X2**).

С целью установления характера и тесноты статистической связи между указанными показателями была рассчитана матрица коэффициентов парной корреляции

Таблица 1 – Матрица коэффициентов парной корреляции $Y1_{RF2015} = f(X1, X2)$ (по данным организаций промышленности регионов Российской Федерации за 2015 г.)

Table 1 – Matrix of pair correlation coefficients $Y1_{RF2015} = f(X1, X2)$ (according to data from industrial organizations across regions of the Russian Federation for 2015)

Показатели	Доля инновационно-активных промышленных предприятий в стране/регионе, % $Y1_{RF2015}$	Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % $X2$
Доля инновационно-активных предприятий промышленности в стране/регионе, % $Y1_{RF2015}$	1		
Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	0,872085	1	
Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % $X2$	0,946119	0,364093	1

Источник: составлено авторами.

ции (таблица 1).

Коэффициенты корреляции между результирующим показателем $Y1_{PФ2015}$ и факторами-аргументами $X1$ и $X2$ достаточно высокие ($r_{x1y} = 0,872$, $r_{x2y} = 0,946$), что свидетельствует о сильной статистической связи между рассматриваемыми переменными. Коллинеарности факторов $X1$ и $X2$ не выявлено.

Для оценки влияния значений факторов-аргументов на результирующий показатель была рассчитана двухфакторная регрессионная модель, уравнение которой имеет вид (формула 3):

$$Y1_{PФ2015} = -0,217 \cdot x1 + 0,424 \cdot x2 + 8,049. \quad (3)$$

Адекватность модели была оценена по значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,966$, значимости F-критерия Фишера и значимости коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента.

Высокое значение F-критерия Фишера ($F_{расч} = 102,43 > F_{табл} = 4,737$) свидетельствует об устойчивости модели и неслучайности связи между рассмотренными факторами. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,966$ указывает на то, что изменение результирующего показателя – доли инновационно-активных организаций промышленности в Российской Федерации в 2015 году на 96 % обусловлено изменением входящих в модель факторов-аргументов. Значение t-статистики Стьюдента ($|t_{расч}| > t_{табл}$) подтверждает значимость коэффициентов полученного уравнения регрессии.

Качество модели подтверждается проверкой остатков регрессионной модели на нормальность распределения. Остатки распределены нормально, зависящая переменная с остатками не коррелирована, дисперсия остатков приближается к нулю.

В полученной модели (формула 3) имеет место обратная зависимость показателя «удельный вес организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет» ($-0,217 \cdot x1$). Поскольку любая многофакторная модель описывает совокупное влияние факторов-аргументов на результирующий показатель, наличие отрицательных коэффициентов при некоторых переменных не может служить однозначным основанием для вывода о наличии обратной зависимости между признаками-факторами и результатом. Такой вывод можно было бы сделать, если бы в исследовании рассматривались однофакторные модели с обратными зависимостями. Кроме того, на-

личие обратных связей между факторами-признаками и результирующим показателем может свидетельствовать о наличии скрытых, неявных зависимостей между ними. В данной модели этот факт может свидетельствовать о существующем лаге влияния широкополосного доступа к сети Интернет на инновационную активность промышленных предприятий в 2015 году.

Для более точной оценки влияния каждого из факторов-аргументов на результирующий показатель были рассчитаны однофакторные регрессионные модели, подтверждающие прямую зависимость признака-результата от каждого из факторов-аргументов. Уравнения этих моделей представлены ниже (формулы 4, 5).

$$Y1'_{PФ2015} = 0,533 \cdot x1 - 33,68. \quad (4)$$

$$Y1''_{PФ2015} = 0,319 \cdot x2 - 5,11. \quad (5)$$

Адекватность моделей была оценена по значению коэффициентов детерминации $R^2 > 0,75$, значимости F-критерия Фишера ($F_{расч} > F_{табл}$) и значимости коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента ($|t_{расч}| > t_{табл}$).

Таким образом, первые инструменты цифровизации – широкополосный доступ к сети Интернет и веб-сайт оказали положительное влияние на инновационную активность промышленных организаций Российской Федерации в 2015 году.

За 2022 год в официальных базах данных Республики Беларусь, в отличие от Российской Федерации, не приводится статистическая информация по использованию в организациях промышленности технологий искусственного интеллекта. Поэтому для построения экономико-математической модели за этот период в качестве факторов-аргументов использованы только три фактора, данные по которым представлены в статистических базах данных: удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет ($X1$), удельный вес организаций, имевших веб-сайт ($X2$) и удельный вес организаций, использовавших цифровые платформы ($X4$).

Результаты корреляционного анализа для выявления зависимости доли инновационно-активных организаций промышленности в регионах Союзного государства Беларуси и России за 2022 год представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица коэффициентов парной корреляции $Y1_{2022RF_PB} = f(X1, X2, X4)$ (по данным регионов Российской Федерации и Республики Беларусь за 2022 г.)

Table 2 – Matrix of pair correlation coefficients $Y1_{2022RF_RB} = f(X1, X2, X4)$ (based on data from regions of the Russian Federation and the Republic of Belarus for 2022)

Показатели	Доля инновационно-активных промышленных предприятий в регионе, % $Y1_{2022RF_PB}$	Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % $X2$	Удельный вес промышленных организаций, использовавших цифровые платформы, % $X4$
Доля инновационно-активных промышленных предприятий в регионе, % $Y1_{2022RF_PB}$	1			
Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	0,6906	1		
Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт % $X2$	-0,6888	0,9516	1	
Удельный вес промышленных организаций, использовавших цифровые платформы, % $X4$	0,716	0,2870	0,3941	1

Источник: составлено авторами.

По результатам корреляционного анализа можно сделать вывод, что между результирующим показателем $Y1_{2022RF_PB}$ и факторами-аргументами $X1$, $X2$ и $X4$ существует средняя (умеренная) сила связи ($r_{x1y1} = 0,69$, $r_{y1x2} = -0,6888$, $r_{y1x4} = 0,716$).

Вместе с тем, корреляционный анализ выявил наличие коллинеарности факторов $X1$ и $X2$ ($r_{x1x2} = 0,9516$), что может свидетельствовать о наличии функциональной зависимости между ними, при которой определить вклад каждой из объясняющих переменных в изменчивость зависимой переменной практически невозможно. Для устранения данной зависимости, один из факторов, должен быть исключен из модели, иначе возникнут определенные проблемы при ее построении и оценке адекватности. Поскольку $r_{x2x4} = 0,3941 > r_{x1x4} = 0,287$, из модели следует исключить фактор $X2$, так как он сильнее коррелирует с фактором $X4$. Таким образом, регрессионная модель 2023 года сводится к

двухфакторной модели и представляет собой зависимость $Y1_{2022RF_PB} = f(X1, X4)$.

Уравнение двухфакторной регрессионной модели, рассчитанной по результатам корреляционного анализа, имеет вид (формула 6):

$$Y1_{2022RF_PB} = -0,205 \cdot x1 + 0,107 \cdot x4 + 20,01. \quad (6)$$

Полученная модель (формула 6) статистически значима. Адекватность модели оценена по значению коэффициента детерминации R , F-критерию Фишера и значимости коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,531$ указывает на то, что изменение результирующего показателя – доли инновационно-активных организаций промышленно-сти в регионах Российской Федерации и Республики Беларусь в 2022 году на 53 % обусловлено изменением

входящих в модель факторов-аргументов. Значение F-критерия Фишера ($F_{расч} = 7,934 > F_{табл} = 3,738$) свидетельствует об устойчивости модели и неслучайности связи между рассмотренными факторами. Значение t-статистики Стьюдента ($|t_{расч}| > t_{табл}$) подтверждает значимость коэффициентов полученного уравнения регрессии и позволяет оценить влияние каждого фактора на значение показателя эффекта. Остатки регрессионной модели распределены нормально, зависимая переменная с остатками не коррелирована.

В модели (формула 6) также наблюдается отрицательная зависимость влияния широкополосного доступа к сети Интернет ($-0,205 \cdot x1$) на инновационную активность организаций промышленности. Статистическая база сформирована по данным за 2023 год, поэтому влияние лага можно исключить. Причина наличия такой зависимости может заключаться в невысокой значимости рассматриваемого фактора в технологических инновациях.

Результаты исследования по модели 2 (формула 2). Зависимость удельного веса инновационной продукции от факторов-аргументов: удельный вес организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, удельный вес организаций промышленности, имевших веб-сайт, удельный вес организаций промышленности, использовавших технологии

искусственного интеллекта и удельный вес организаций, использовавших цифровые платформы.

В официальных базах данных Республики Беларусь за 2015 год не приводится статистическая информация по количеству или удельному весу организаций, использовавших технологии искусственного интеллекта и удельному весу организаций, использовавших цифровые платформы. Поэтому для оценки влияния цифровизации в организациях промышленности регионов Союзного государства на показатели удельного веса инновационной продукции за этот год качестве факторов-аргументов использованы следующие: удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет ($X1$) и удельный вес организаций, имевших веб-сайт ($X2$).

$$Y2_{2015PФ_РБ} = f(X1, X2). \quad (7)$$

Результаты корреляционного анализа для выявления зависимости между этими показателями представлены в таблице 3.

Проведенный корреляционный анализ показал, что между уровнем удельного веса инновационной продукции ($Y2$), с одной стороны и удельным весом организаций промышленности, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет ($X1$), а также удельным

Таблица 3 – Матрица коэффициентов парной корреляции $Y2_{2015PФ_РБ} = f(X1, X2)$ (по данным Российской Федерации и Республики Беларусь за 2015 г.)

Table 3 – Matrix of pair correlation coefficients $Y2_{2015RF_RB} = f(X1, X2)$ (according to data from the Russian Federation and the Republic of Belarus for 2015)

Показатели	Удельный вес инновационной продукции, % $Y2$	Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % $X2$
Удельный вес инновационной продукции, % $Y2$	1		
Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % $X1$	0,2768	1	
Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % $X2$	0,2585	0,8781	1

Источник: составлено авторами.

весом организаций промышленности, имевших веб-сайт (**X2**) с другой стороны, в 2015 году прослеживается слабая прямая статистическая зависимость ($r_{y2x1} = 0,2768$, $r_{y2x2} = 0,2585$). Теснота этой связи является недостаточной для построения адекватных регрессионных моделей для анализа и прогнозирования уровня удельного веса инновационной продукции в организациях промышленности регионов Союзного государства.

С экономической точки зрения полученный результат подтверждает вывод о том, что в 2015 году влияние инструментов цифровизации на инновационную активность промышленных организаций было минимальным, т. к. отдачи от цифровизации еще не прослеживалось.

Для анализа исходных данных и построения регрессионной модели № 2 за 2022 год в качестве факторов-аргументов выбраны те же, что и для расчета регрессионной модели № 1 за 2022 год.

Результаты корреляционного анализа для выявления зависимости между уровнем удельного веса инновационной продукции организаций промышленности в регионах Союзного государства (**Y2**), с одной стороны, и удельным весом организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет (**X1**), удельным весом организаций, имевших веб-сайт (**X2**), удельным весом организаций, использовавших цифровые платформы (**X4**), с другой стороны, представлены в таблице 4. Поскольку в официальных базах данных Республики Беларусь за 2022 год, в отличие от Российской Федерации, не приводится статистическая информация по использованию в организациях промышленности технологий искусственного интеллекта, фактор **X3** учесть при построении этой модели невозможно, хотя полностью исключать его влияние на уровень цифровизации статистически некорректно.

Таблица 4 – Матрица коэффициентов парной корреляции $Y2_{2022RF_RB} = f(X1, X2, X4)$ (по данным регионов Российской Федерации и Республики Беларусь за 2022 г.)

Table 4 – Matrix of pair correlation coefficients $Y2_{2022RF_RB} = f(X1, X2, X4)$ (based on data from regions of the Russian Federation and the Republic of Belarus for 2022)

Показатели	Удельный вес инновационной продукции, % Y2	Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % X1	Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % X2	Удельный вес промышленных организаций, использовавших цифровые платформы, % X4
Удельный вес инновационной продукции, % Y2	1			
Удельный вес промышленных организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет, % X1	0,6927	1		
Удельный вес промышленных организаций, имеющих веб-сайт, % X2	0,6637	0,2951	1	
Удельный вес промышленных организаций, использовавших цифровые платформы, % X4	0,6872	0,2870	0,3118	1

Источник: составлено авторами.

По результатам корреляционного анализа можно сделать вывод, что между результирующим показателем **Y** и факторами-аргументами **X1**, **X2** и **X4** существует умеренная сила связи, что подтверждается значениями коэффициентов корреляции ($r_{x1y} = 0,6927$, $r_{x2y} = 0,6637$, $r_{x4y} = 0,6872$). Наличия коллинеарности факторов-аргументов не выявлено, поэтому все они могут быть использованы для построения регрессионной модели.

Для оценки влияния значений факторов-аргументов на результирующий показатель была рассчитана трехфакторная регрессионная модель, уравнение которой имеет вид (формула 8):

$$Y2_{2022} = 0,67 \cdot x1 - 0,71 \cdot x2 + 1,12 \cdot x4 - 27,84. \quad (8)$$

Модель отвечает условиям адекватности: коэффициент детерминации $R^2 = 0,531$ указывает на то, что изменение результирующего показателя – доли инновационно-активных организаций промышленности в регионах Российской Федерации и Республики Беларусь в 2022 году на 53 % обусловлено изменением входящих в модель факторов-аргументов. Значение F-критерия Фишера ($F_{расч} = 5,049 > F_{табл} = 3,41$) свидетельствует об устойчивости модели и неслучайности связи между рассмотренными факторами. Значение t-статистики Стьюдента ($|t_{расч}| > t_{табл}$) подтверждает значимость коэффициентов полученного уравнения регрессии и позволяет оценить влияние каждого фактора на значение показателя эффекта.

В то же время в модели (формула 8) наблюдается отрицательная зависимость между фактором «удельный вес организаций промышленности, имевших веб-сайт» ($-0,71 \cdot x2$ и результирующим показателем). Это может объясняться его несущественной значимостью для технологических инноваций в рассматриваемом периоде.

Наиболее значимым фактором оказался «Удельный вес организаций, использовавших цифровые платформы» (коэффициент при **X4** = 1,12).

Исходя из проведенного исследования влияния цифровизации на инновационную активность организаций промышленности, построенные выше многофакторные регрессионные модели демонстрируют отрицательные коэффициенты при отдельных факторах-аргументах. Отрицательные коэффициенты в многофакторных моделях являются результатом мультиколлинеарности и не означают фактического отрицательного влияния инструментов цифровизации на инновационную активность

организаций промышленности.

Мультиколлинеарность возникает, когда между независимыми переменными в модели существует сильная корреляция. В анализируемых данных выявлена высокая корреляция между переменными: **X1** (удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет) и **X2** (удельный вес организаций, имевших веб-сайт), коэффициент корреляции составляет $r = 0,9516$.

Такая высокая корреляция приводит к следующим проблемам: нестабильность оценок коэффициентов регрессии; большие стандартные ошибки коэффициентов; возможное изменение знака коэффициентов (появление отрицательных значений); сложность в интерпретации индивидуального вклада переменных. В соответствии с поставленной в статье целью – оценить степень влияния инструментов цифровизации на инновационную активность организаций промышленности регионов Союзного государства, для понимания истинного направления влияния факторов были построены однофакторные модели, результаты которых представлены ниже.

Для более точной оценки влияния каждого из факторов-аргументов на результирующий показатель – «Удельный вес инновационной продукции, %» были рассчитаны однофакторные регрессионные модели, подтверждающие прямую зависимость признака-результата от каждого из факторов-аргументов. Уравнения этих моделей представлены ниже (формулы 9, 10, 11).

$$Y2'_{2022} = 0,545 \cdot x1 - 33,348. \quad (9)$$

$$Y2''_{2022} = 0,565 \cdot x2 - 20,471. \quad (10)$$

$$Y2'''_{2022} = 1,042 \cdot x4 - 11,68. \quad (11)$$

Адекватность моделей была оценена по значению коэффициентов детерминации $R^2 > 0,75$, значимости F-критерия Фишера ($F_{расч} > F_{табл}$) и значимости коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента ($|t_{расч}| > t_{табл}$).

Во всех однофакторных моделях коэффициенты при факторах-аргументах положительные, что подтверждает положительное влияние каждого инструмента цифровизации на инновационную активность организаций промышленности. Причем, степень влияния факторов цифровизации – удельный вес организаций, использо-

вавших широкополосный доступ к сети Интернет ($X1$), удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет ($X1$) возросла в 2022 году по сравнению с 2015 годом.

Процесс цифровизации в организациях промышленности регионов Союзного государства России и Беларуси в 2022 году по показателю эффекта «уровень удельного веса инновационной продукции, %» ($Y2$) можно проследить с помощью графика значений результирующего показателя $Y2_{2022РФ и РБ}$ (рисунок 3).

Как видно из рисунка 3, смоделированные значения удельного веса инновационной продукции по регионам Республики Беларусь (Витебская, Гомельская область и г. Минск) и по Российскому региону (Приволжский федеральный округ) ниже фактических значений. Наличие таких выбросов является объективным фактом и означает, что в этих регионах инновационная активность выше средних значений, и они имеют запас прочности. Для оценки влияния выбросов на качество модели проведена проверка остатков регрессионной модели на нормальность распределения. По результатам проверки можно сделать вывод, что остатки распределены

нормально, не коррелируют с зависимой переменной, наблюдаемые выбросы не оказывают существенного влияния на качество регрессионной модели и, следовательно, на значение результирующего показателя.

Искусственный интеллект является инструментом нового поколения цифровых технологий. Решения на основе искусственного интеллекта дают возможность автоматизировать рутинные задачи, развивать новые форматы работы, внедрять инновационные бизнес-модели, осваивать новые рыночные ниши, то есть способствуют инновациям.

Статистика по показателю «Удельный вес организаций промышленности, использовавших технологии искусственного интеллекта» имеется только по Российской Федерации за 2022 год. Проведем исследование влияния искусственного интеллекта ($X3$) на инновационность организаций промышленности $Y2$ (формула 12).

$$Y2'_{uu} = f(X3). \quad (12)$$

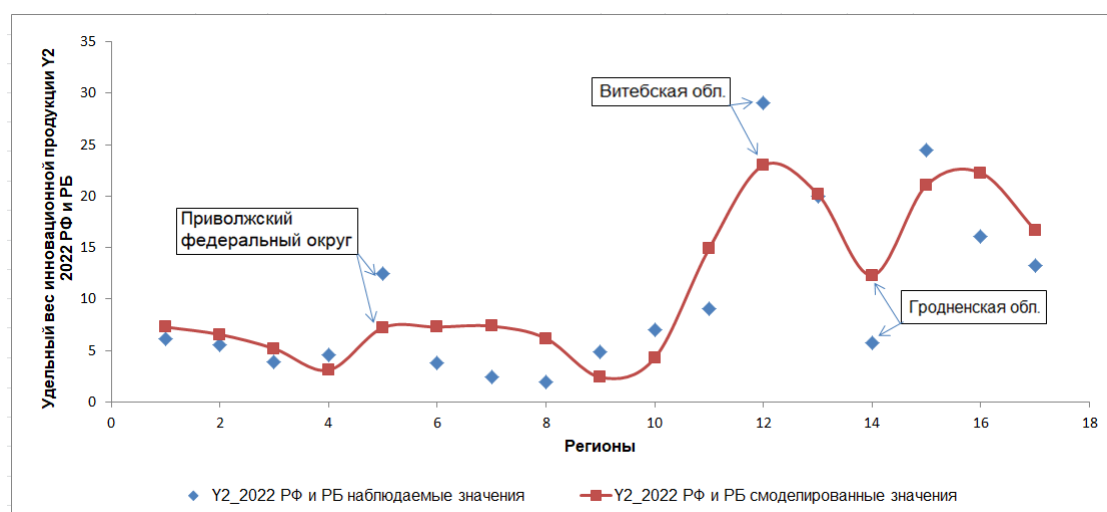


Рисунок 3 – График наблюдаемых и смоделированных значений доли инновационной продукции организаций промышленности регионов Союзного государства России и Беларуси за 2022 г.

Figure 3 – Graph of observed and simulated values of the share of innovative products of industrial organizations across regions of the Union State of Russia and Belarus for 2022

Источник: составлено авторами.

Проведенный корреляционный анализ показал, что между уровнем удельного веса инновационной продукции ($Y2$), с одной стороны и удельным весом организаций промышленности регионов Российской Федерации, использовавших технологии искусственного интеллекта ($X3$) прослеживается прямая статистическая зависимость: коэффициент корреляции $r_{x3y2} = 0,55$, что свидетельствует о средней (умеренной) силе связи между этими показателями. Уравнение регрессионной модели, рассчитанной по результатам корреляционного анализа, имеет вид (формула 13):

$$Y2'_{\text{иц_2022_РФ}} = 1,165 \cdot x3 - 0,589. \quad (13)$$

Адекватность рассчитанной модели была оценена по значению коэффициента детерминации $R^2 = 0,82$, значимости F-критерия Фишера ($F_{\text{расч}} = 42,28 > F_{\text{табл}} = 5,31$) и значимости коэффициентов уравнения регрессии по t-критерию Стьюдента ($|t_{\text{расч}}| > t_{\text{табл}}$).

Графическая интерпретация результатов моделирования представлена на рисунке 4.

Значительную часть явления различия между наблюдаемыми и смоделированными значениями показателя эффекта – удельного веса организаций промышленности, использовавших технологии искусственного интеллекта, можно отнести на счет гипотезы о том, что в высокоразвитых регионах (Приволжский федеральный округ, г. Санкт-Петербург) технологии искусственного интеллекта в организациях промышленности используются более широко, и наоборот.

Анализ полученных результатов

Таким образом, общий вывод по результатам выше приведенного исследования.

1. Зависимость между инструментами цифровизации и результирующим показателем инноваций – существует.

2. Все инструменты цифровизации (широкополосный доступ к интернету, наличие веб-сайта, использование цифровых платформ и искусственного интеллекта) оказывают положительное влияние на инновационную активность организаций промышленности. Однако, наиболее сильное влияние оказывают цифровые платформы ($X4$) и искусственный интеллект ($X3$).

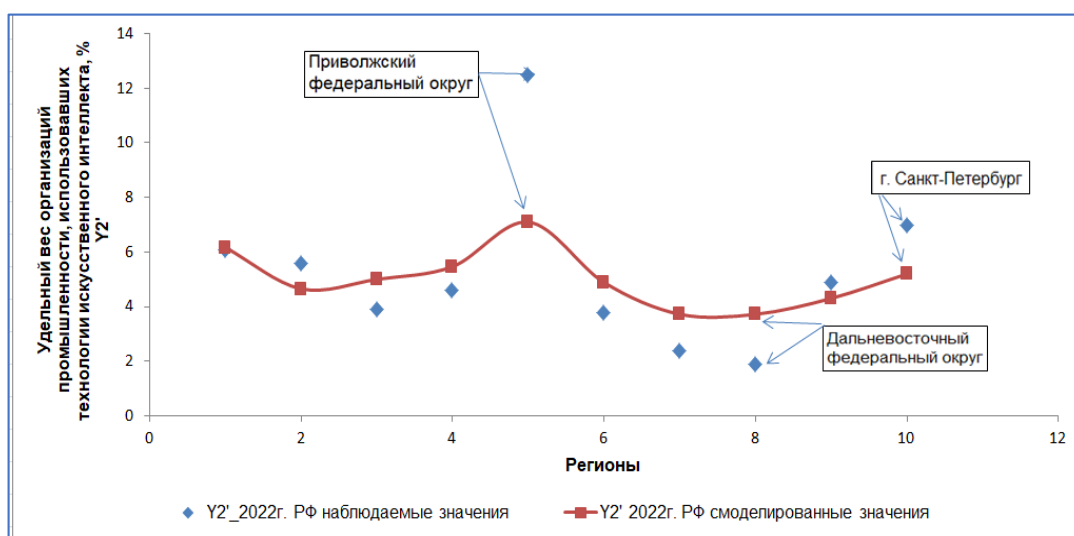


Рисунок 4 – График наблюдаемых и смоделированных значений доли инновационной продукции организаций промышленности регионов Российской Федерации за 2022 г.

Figure 4 – Graph of observed and simulated values of the share of innovative products of industrial organizations across regions of the Russian Federation for 2022

Источник: составлено авторами.

На основе проведенного исследования предлагают следующие рекомендации по внедрению цифровых инструментов в промышленных организациях.

1 – Создание и внедрение цифровых промышленных платформ.

Цифровые платформы как инструмент цифровизации рассмотрены в работах Алексеевой Е. А.; Ванкевич Е. В., Касаевой Т. В., Калиновской И. Н.; Гелисханова И. З.; Юдиной Т. Н.; Диксон Д., Бабкина А. В. Месропяна В. З., Чуркиной Н.С., Степаненко Д.А.; Drayton B.; Evans P.; Botsman R.; Li L., Su F., Zhang W. and Mao J. Y. (Алексеева Е.А., 2024; Касаева Т.В., 2024; Калиновская И.Н., 2022; Диксон Д., 2017; Drayton B., 2010; Botsman R., 2010; Evans P., 2016; Li L., Su F., Zhang W. and Mao J. Y. 2018).

Промышленная цифровая платформа определяется как технологическая архитектура и данные, на которых фокусная фирма организует взаимодействие разнообразных взаимозависимых акторов, действий и интерфейсов для создания, доставки и получения ценности (Попов Е.В., Симонова В.Л. и Зырянов А.С., 2024).

Цифровые промышленные платформы соединяют технологические строительные блоки и промышленные приложения. Такие платформы создают взаимодействие и не только экономят на бизнес-издержках, связанных с транзакциями, но и дополнительно обеспечивают новые (цифровые) услуги и бизнес-модели.

Цифровая платформа в промышленности обычно организована вокруг центральной фирмы, которая владеет или спонсирует ее. Универсального подхода к разработке промышленной цифровой платформы не существует, но ключевым шагом является инвестиция в технологию ядра платформы. Спонсоры платформ постепенно развивают архитектуру и наращивают возможности сбора данных о продуктах. Затем они фокусируются на использовании аналитики, так как усовершенствованные датчики обеспечивают более качественные и разнообразные данные. Это позволяет агрегировать данные, сопоставлять различные наборы и находить закономерности.

Цифровая платформа способствует инновациям. Это проявляется в следующих возможностях:

- цифровая платформа включают цифровые модули, которые являются программируемыми и отслеживаемыми, что позволяет собирать данные и предоставлять новые функции, такие как мониторинг или визуализация, что способствует разработке новых продуктов;

- партнерства в цепочке создания стоимости позволяют эффективно предоставлять услуги мониторинга, которые создают ценность за счет более глубокого анализа данных;

- экосистема цепочки поставок расширяет функциональность платформы через анализ данных и укрепляет партнерства с клиентами и поставщиками. Это позволяет изучать большие объемы данных, учитывать потребности клиентов в разработке новых продуктов.

2 – Внедрение искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект в бизнесе рассматривается в работах следующих ученых: Ванкевич Е. В., Калиновская И. Н.; Jabbour, C.J.C., Schallmo, D., Williams, C. and Boardman, L.; Carayannis, E. G., Del Giudice, M. and Soto-Acosta, P. (Vankevich, A. and Kalinouskaya I., 2020; Jabbour, C.J.C., 2019; Schallmo, D., Williams, C. and Boardman, L. (2017); Carayannis, E.G., Del Giudice, M. and Soto-Acosta, P., 2018).

Искусственный интеллект представляет собой интеллектуальные системы, которые способны анализировать информацию, делать прогнозы, находить возможности для оптимизации и принимать решения самостоятельно.

Внедрение искусственного интеллекта в компаниях значительно повышает их эффективность, конкурентоспособность, развивает отраслевые рынки, стимулирует создание новых технологий, повышает качество продукции и увеличивает объем производства.

Искусственный интеллект трансформирует бизнес-операции и процессы, автоматизируя рутинные задачи, извлекая информацию из наборов данных и улучшая качество обслуживания клиентов. Согласно отчету Deloitte, 58 % сотрудников считают, что рост инноваций является одним из важнейших преимуществ искусственного интеллекта⁸. В отчете исследовательского института Capgemini показано, что 51 % ведущих европейских производителей внедрились по крайней мере один вариант использования искусственного интеллекта⁹.

⁸ Harvard business school available (2024), available at: https://online-hbs-edu.translate.goog/blog/post/ai-innovation?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq (accessed: 19 September 2024).

⁹ Europe is leading AI in manufacturing operations adoption (2019), available at: https://www-capgemini-com.translate.goog/gb-en/news/press-releases/europe-is-leading-ai-in-manufacturing-operations-adoption/?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq (accessed: 20 December 2024).

Преимущества искусственного интеллекта следующие⁵: четкая бизнес-ценность, относительная простота внедрения, доступность данных и навыки искусственного интеллекта.

Таким образом, для промышленных организаций Республики Беларусь возможны следующие направления применения искусственного интеллекта:

- контроль качества продукции;
- интеллектуальное обслуживание и планирование спроса;
- обнаружение признаков сбоев робототехники¹⁰.

3 – Внедрение индустриального (часто промышленного) Интернета Вещей (Industrial Internet of Things, IIoT).

Директор ИНФО определяет Промышленный интернет вещей (IIoT, англ. Industrial Internet of Things) как «концепцию построения инфокоммуникационных структур, подразумевающую подключение к сети Интернет любых не бытовых устройств, оборудования, датчиков, сенсоров, автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУ ТП), а также интеграцию данных элементов между собой, что приводит к формированию новых бизнес-моделей при создании товаров и услуг, а также их доставке потребителем»¹¹.

Применение Интернета вещей в промышленности создаёт новые возможности для развития производства и решает ряд важнейших задач: повышение производительности оборудования, снижение материальных и энергетических затрат, повышение качества, оптимизация и улучшение условий труда сотрудников компании, рост рентабельности производства и конкурентоспособности на мировом рынке (Hugh Boyes, Roy Isbell and Tim Watson, 2018).

Основными принципами промышленного Интернета Вещей являются: внедрение сетевого взаимодействия между машинами (M2M); снижение человеческого фактора; разнообразие технологий обмена данными; передача функции управления и принятия решений интеллектуальным системам (Анищенко М.В., 2018).

Промышленный Интернет Вещей является инновацией в маркетинге и сбыте. Вместе с тем, промышлен-

ный Интернет вещей, это более широкое направление цифровизации. Он может применяться для решения следующих задач: автоматизация процесса учета энергоресурсов на предприятии; мониторинг работы технологического оборудования и станков, учет рабочих часов и уменьшение простоев; построение охранно-пожарных систем и обеспечение безопасности на предприятии; оптимизирование процессов логистики; удаленное отслеживание параметров окружающей среды; мониторинг условий хранения продукции, учет и пополнение складских запасов (Анищенко М.В., 2018).

Выводы

В соответствии с поставленной целью – выполнить анализ и оценить степень влияния инструментов цифровизации на инновационную активность организаций промышленности регионов Союзного государства, проведенный корреляционно-регрессионный анализ позволил выявить инструменты цифровизации, которые оказывают наибольшее влияние на инновационную активность промышленных организаций. Результаты исследования показали, что существует зависимость между элементами цифровизации и результирующим показателем инноваций. Причем, степень влияния факторов цифровизации – удельный вес организаций, использовавших широкополосный доступ к сети Интернет (**XI**) возросла в 2022 году по сравнению с 2015 годом. Наибольшее влияние на уровень инновационности оказали цифровые промышленные платформы, искусственный интеллект.

Обоснованные инструменты цифровизации (цифровые промышленные платформы, искусственный интеллект, промышленный Интернет Вещей) позволяют повысить инновационную активность промышленных организаций Союзного государства России и Беларуси.

Прогноз экономического эффекта цифровизации по построенным моделям не ставился в данной статье, это задача отдельного изучения, которое уже проводится некоторыми учеными и консалтинговыми агентствами. По результатам исследования консалтингового агентства «Deloitte», организации с более высокой цифровой зрелостью имеют рост выручки на 45 % по сравнению с 15 % у организаций с более низким показателем цифровизации (Gurumurthy R., 2022). Из отчета консалтинговой компании «РТС», 40 % руководителей организаций считают главным преимуществом цифровой трансформации операционную эффективность, тогда как 36 % заявили, что цифровые технологии уско-

¹⁰ Developing sustainable Gen AI / Report from the Capgemini Research Institute (2023), available at: https://online-hbs-edu.translate.google.com/blog/post/ai-innovation?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=rq (accessed: 30 September 2024).

¹¹ Исследование рынка IoT и M2M в России и мире (2017), режим доступа: http://www.directinfo.net/index.php?option=com_content&view=article&id=162%3A2010-07-06-13-57-09&catid=1%3A2008-11-27-09-05-45&Itemid=89&lang=ru (accessed: 10 September 2024).

рили выход на внешний рынок¹². Основываясь на этих результатах, можно утверждать, что внедрение таких инструментов цифровизации как цифровая платформа, искусственный интеллект, Промышленный Интернет Вещей позволят промышленным организациям Союзного государства увеличить выручку, экспорт продукции, что будет способствовать повышению их эффективности и конкурентоспособности.

¹² White N. 14 Digital Transformation Statistics & Why They Matter to the Enterprise available at: <https://www.ptc.com/en/blogs/corporate/digital-transformation-statistics>. (accessed: 10 September 2024).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Анищенко, М.В. (2018). Промышленный Интернет вещей (IIoT): опыт внедрений. [Online], URL: http://webinar.plcsystems.ru/events/iiot/20190926/iiot_solutions_plcsystems.pdf, (дата обращения: 24.12.2024).

Ачаповская, М. (2019). Цифровизация экономики как драйвер инновационного развития. *Банкаўскі веснік*. № 1, с. 52–58.

Бодрунов, С.Д. (2022). Технологический прогресс: предпосылки и результат социогуманитарной ориентации экономического развития. *Экономическое возрождение России*. № 1 (71), с. 5–13.

Быковская, Е.Н., Харчилава, Г.П. и Кафиятуллина, Ю.Н. (2018). Современные тенденции цифровизации инновационного процесса. *Управление*. № 6(1), с. 38–43. DOI:10.26425/2309-3633-2018-1-38-43.

Ватлина, Л.В., Плотников, В.А. (2023). Цифровизация и инновационное развитие экономики. *Известия*. № 1, с. 106–113.

Головенчик, Г.Г. (2022). Цифровая экономика в Республике Беларусь: современные тенденции, вызовы и перспективы. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика*. № 3, Т. 30, с. 414–428.

Диксон, Д. (2017). Химическая промышленность 4.0. Развитие на основе инноваций в эпоху перемен. *Deloitte Development LLC*. 34 с.

Калиновская, И.Н. (2023). Анализ уровня цифровизации экономики Республики Беларусь и ее регионов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 45, с. 82–94. DOI:10.24412/2079-7958-2023-2-82-94.

Касаева, Т.В., Конюшко, Е.С. (2024). Структурно-динамическая оценка показателей цифровизации и цифровой трансформации организаций Республики Беларусь. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 2(48), с. 122–139. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-122-139.

Кондратьева, М., Комахина, А. (2022). Цифровизация: исследование основных терминов. *Экономика и управление: научно-практический журнал*, № 3(165), с. 134–139.

Попов, Е.В., Симонова, В.Л. и Зырянов, А.С. (2024). Эволюция бизнес-экосистем в промышленности – от классического типа к цифровым. *Информатизация в цифровой экономике*. Том 5. № 3, с. 341–360. DOI:10.18334/ide.5.3.121748.

Салтрукович, Н.О., Алексеева, Е.А. (2024). Цифровая платформа для управления цепями поставок в неокластерах. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 2(48), с. 140–153. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-140-153.

Botsman, R. (2010). What's mine is yours: The rise of collaborative consumption. *New York: Harper Collins*. 304 p.

Carayannis, E.G., Del Giudice, M. and Soto-Acosta, P. (2018). Disruptive technological change within knowledge-driven economies: The future of the Internet of Things (IoT). *Technological Forecasting and Social Change*, 136: 265–267.

Drayton, B. (2010). A new alliance for global change. *Harv. Bus. Rev.* P. 56–64.

Evans, P. (2016). The Rise of the Platform Enterprise: A Global Survey. *The Center for Global Enterprise*. 29 p.

Gurumurthy, R. [2022]. Uncovering the connection between digital maturity and financial performance [Online], URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-transformation-survey.html>. (accessed: 10 Desember 2024).

Hugh Boyes, Roy Isbell and Tim Watson [2018]. The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*. Vol. 101, p. 1–12.

Jabbour, C.J.C., Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Sarkis, J. and Filho, M.G. [2019]. Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: An integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 144: 546–552.

Kalinouskaya, I. [2022]. Selection of Training Programs for Textile Industry Personnel Using Artificial Intelligence. *International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI-2021) on 8th – 10th June, 2021 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus)*. AIP Conference Proceedings 2430, 060003 DOI:10.1063/5.0078827.

Li, L., Su, F., Zhang, W. and Mao, J.Y. [2018]. Digital transformation by SME entrepreneurs: A capability perspective. *Information Systems Journal*. [28(6)], pp. 1129–1157.

Schallmo, D., Williams, C. and Boardman, L. [2017]. Digital transformation of business models – Best practice, enablers and roadmap. *International Journal of Innovation Management*. [21(8)], pp 1–17.

Vankevich, A., Kalinouskaya, I. [2020]. Ensuring sustainable growth based on the artificial intelligence analysis and forecast of in-demand skills. *First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020)*. E3S Web Conf. Vol. 208. DOI:10.1051/e3sconf/202020803060.

REFERENCES

Anishchenko, M.V. [2018]. Industrial Internet of Things (IIoT): implementation experience [Promyshlennyy Internet veshchej (IIoT): opyt vnedrenij]. [Online], URL: http://webinar.plcsystems.ru/events/iiot/20190926/iiot_solutions_plcsystems.pdf, [data obrashcheniya: 24.12.2024] (In Russian).

Achapovskaya, M. [2019]. Digitalization of the economy as a driver of innovative development [Cifrovizatsiya ekonomiki kak drayver innovatsionnogo razvitiya]. *Bankauski vesnik = Bankau Gazette*. no. 1, pp. 52–58 (In Russian).

Bodrunov, S.D. [2022]. Technological progress: prerequisites and results of the socio-humanitarian orientation of economic development [Tekhnologicheskij progress: predposylki i rezul'tat sociogumanitarnoj orientatsii ekonomicheskogo razvitiya]. *Ekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = Economic revival of Russia*. no. 1 [71], pp. 5–13 (In Russian).

Bykovskaya, E.N., Harchilava, G.P., Kafiyatullina, Yu.N. [2018]. Modern trends in the digitalization of the innovation process [Sovremennye tendentsii cifrovizatsii innovatsionnogo processa]. *Upravlenie = Management*. no. 6(1), pp. 38–43. DOI:10.26425/2309-3633-2018-1-38-43 (In Russian).

Vatlina, L.V., Plotnikov, V.A. [2023]. Digitalization and innovative development of the economy [Cifrovizatsiya i innovatsionnoe razvitie ekonomiki]. *Izvestiya = News*. no. 1, pp. 106–113 (In Russian).

Golovenchik, G.G. [2022]. Digital economy in the Republic of Belarus: current trends, challenges and prospects [Cifrovaya ekonomika v Respublike Belarus': sovremennye tendentsii, vyzovy i perspektivy]. *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekonomika = Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Economics*, no. 3, Vol. 30, pp. 414–428 (In Russian).

Dikson, D. [2017]. Chemical industry part 0. Innovation-based development in the age of change [Himicheskaya promyshlennost' 4.0. Razvitie na osnove innovacij v epohu peremen]. *Deloitte Development LLC*. 34 p. (In Russian).

Kalinovskaya, I.N. [2023]. Analysis of the level of digitization of the economy of the Republic of Belarus and its regions [Analiz urovnya cifrovizatsii ekonomiki Respubliki Belarus' i ee regionov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 2 [45], pp. 82–94. DOI:10.24412/2079-7958-2023-2-82-94 (In Russian).

Kasayeva, T.V., Koniushka, Y.S. [2024]. Structural and dynamic assessment of indicators of digitalization and digital transformation of organizations of the Republic of Belarus [Strukturno-dinamicheskaya ocenka pokazatelej cifrovizatsii i

цифровой трансформации организаций Республики Беларусь]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = *Bulletin of Vitebsk State Technological University*, no. 2(48), pp. 122–139. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-122-139 (In Russian).

Kondrat'eva, M., Komahina, A. (2022). Digitization: an exploration of key terms. [Cifrovizaciya: issledovanie osnovnykh terminov]. *Ekonomika i upravlenie: nauchno-prakticheskij zhurnal* = *Economy and management: scientific and practical journal*. no. 3(165), pp. 134–139 (In Russian).

Popov, E.V., Simonova, V.L. and Zyryanov A.S. (2024). The evolution of business ecosystems in the industry – from the classic type to digital [Evolyuciya biznes-ekosistem v promyshlennosti – ot klassicheskogo tipa k cifrovym]. *Informatizaciya v cifrovoj ekonomike* = *Informatization in the digital economy*. Vol. 5. no. 3, pp. 341–360. DOI:10.18334/ide.5.3.121748 (In Russian).

Saltrukovich, N.O., Alekseeva E.A. (2024). A digital platform for managing supply chains in neoclusters [Cifrovaya platforma dlya upravleniya cepyami postavok v neoklasterah]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = *Vestnik of Vitebsk State Technological University*, no. 2 (48), pp. 140–153. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-140-153 (In Russian).

Botsman, R. (2010). What's mine is yours: The rise of collaborative consumption. *New York: Harper Collins*. 304 p.

Carayannis, E.G., Del Giudice, M. and Soto-Acosta, P. (2018). Disruptive technological change within knowledge-driven economies: The future of the Internet of Things (IoT). *Technological Forecasting and Social Change*, 136: 265–267.

Drayton, B. (2010). A new alliance for global change. *Harv. Bus. Rev.* P. 56–64.

Evans, P. (2016). The Rise of the Platform Enterprise: A Global Survey. *The Center for Global Enterprise*. 29 p.

Gurumurthy, R. (2022). Uncovering the connection between digital maturity and financial performance [Online], URL: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/topics/digital-transformation/digital-transformation-survey.html>. [accessed: 10 Desember 2024].

Hugh Boyes, Roy Isbell and Tim Watson (2018). The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework. *Computers in Industry*. Vol. 101, p. 1–12.

Jabbour, C.J.C., Lopes de Sousa Jabbour, A.B., Sarkis, J. and Filho, M.G. (2019). Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: An integrative framework and research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 144: 546–552.

Kalinouskaya, I. (2022). Selection of Training Programs for Textile Industry Personnel Using Artificial Intelligence. *International Conference on Textile and Apparel Innovation (ICTAI-2021) on 8th – 10th June, 2021 at Vitebsk State Technological University (Republic of Belarus)*. AIP Conference Proceedings 2430, 060003. DOI:10.1063/5.0078827.

Li, L., Su, F., Zhang, W. and Mao, J.Y. (2018). Digital transformation by SME entrepreneurs: A capability perspective. *Information Systems Journal*. [28(6)], pp. 1129–1157.

Schallmo, D., Williams, C. and Boardman, L. (2017). Digital transformation of business models – Best practice, enablers and roadmap. *International Journal of Innovation Management*. [21(8)], pp 1–17.

Vankevich, A., Kalinouskaya, I. (2020). Ensuring sustainable growth based on the artificial intelligence analysis and forecast of in-demand skills. *First Conference on Sustainable Development: Industrial Future of Territories (IFT 2020)*. E3S Web Conf. Vol. 208. DOI:10.1051/e3sconf/202020803060.

Информация об авторах

Information about the authors

Яшева Галина Артемовна

Доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь.

E-mail: gala-ya@list.ru

Galina A. Yasheva

Doctor of Science (in Economics), Professor, Republic of Belarus.

E-mail: gala-ya@list.ru

Вайлунова Юлия Геннадьевна

Кандидат экономических наук, доцент кафедры «Маркетинг и финансы», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yulia_kg@tut.by

Вардомацкая Елена Юрьевна

Старший преподаватель кафедры «Математика и информационные технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: el_v@tut.by

Шерстнева Ольга Михайловна

Старший преподаватель кафедры «Маркетинг и финансы», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: olga_sherstneva@mail.ru

Yulia G. Vailunova

Candidate of Science (in Economics), Associate Professor of the Department "Marketing and Finance", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yulia_kg@tut.by

Elena Yu. Vardomatskaya

Senior Lecturer of the Department "Mathematics and Information Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: el_v@tut.by

Olga M. Sherstneva

Senior Lecturer of the Department "Marketing and Finance", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: olga_sherstneva@mail.ru

Энергетическая безопасность и энергетическая трансформация как импульсы глобальных, региональных и национальных цивилизационных вызовов

М. Л. Зеленкевич¹,

¹Институт бизнеса БГУ, Республика Беларусь

Б. Стаховяк²

²Университет кардинала Стефана Вышинского в Варшаве, Республика Польша

Аннотация. В статье рассматривается вопрос об основах идеи энергетической безопасности на земном шаре, континенте и в отдельных странах, а также необходимой для ее достижения энергетической трансформации, что важно для современного мира с точки зрения общества и экономики. На основе оценки современного мира, функционирующего в крайне непредсказуемых условиях с многочисленными ограничениями и барьерами, которые, в свою очередь, порождают угрозы, вызовы и дилеммы в отношении сырьевой, энергетической и климатической ситуации, авторы акцентируют внимание на энергетическом сегменте. Энергетическая безопасность рассматривается как один из ведущих и решающих факторов будущего экономического развития мира, его регионов и отдельных стран, а также повышения уровня и качества жизни общества, поскольку она направлена на выявление идей, основ и восприятия энергетики как базового ресурса производства. Безопасность как ответ на цивилизационные изменения условий функционирования общества, увязывает их с необходимостью осуществления энергетической трансформации, соответствующей нынешним и будущим условиям развития. Считая этот подход ведущим, авторы статьи стремятся отразить сущность энергетической безопасности и трансформации энергетики в ее познавательной и нормативной сфере, применительно к природно-климатическим и экологическим цивилизационным вызовам современного мира. Методами исследования стали анализ литературы, а также экономической практики и ее синтез, отсылающий к идее исследовательской парадигмы новой институциональной экономики. Этот тип исследований позволил нам разработать основы для обоснования теории энергетической безопасности и трансформации энергетики. Проведенный анализ был сфокусирован на вопросах отражения энергетической безопасности и энергетической трансформации в литературе по данной теме, что позволило определить генезис и сущность энергетической безопасности и энергетической трансформации.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, энергетическая трансформация, когнитивные и нормативные определения, регулирование энергетической отрасли.

Информация о статье: поступила 06 декабря 2024 года.

Energy security and energy transformation as impulses of global, regional and national civilization challenges

Marina L. Zelenkevich¹,

¹School of Business BSU, Republic of Belarus

Bartosz Stachowiak²

²Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, Republic of Poland

Abstract. The article addresses the issue of the foundations of the idea of energy security at the global, continental and national levels, as well as the energy transformation necessary to achieve it, which is important for the modern world – both in terms of its society and economy. Based on the assessment of the modern world, which operates under extremely unpredictable conditions and faces numerous restrictions and barriers, leading to numerous challenges and dilemmas regarding the raw materials, energy and climate situation, the authors focus on the energy segment. Recognizing energy security as one of the leading and decisive factors for future economic development of the world, its regions and individual countries, as well as for improving the standard and quality of life of society, the study aims to identify ideas, foundations and perceptions of energy. Security as a response to civilizational changes under the conditions of functioning of society, links them with the need to implement an energy transformation that corresponds to the current and future conditions of development. Considering this approach to be the leading one, the authors explore the essence of energy security and energy transformation within its cognitive and normative sphere, addressing natural, climatic and ecological civilizational

challenges facing the modern world. The research methods included the analysis of literature, as well as economic practice and its synthesis, referring to the idea of the research paradigm of the new institutional economy. This type of research allowed the development of a theoretical framework for identifying the theory of energy security and energy transformation. The analysis focused on the issues of reflecting energy security and energy transformation in the literature on this topic, which made it possible to determine the genesis and essence of energy security and energy transformation.

Keywords: energy security, energy transformation, cognitive and normative definitions, regulation of the energy industry.

Article info: received December 06, 2024.

Введение

Современный мир – как с точки зрения общества, так и с точки зрения экономики – функционирует в крайне непредсказуемых и изменчивых условиях и в процессе своего функционирования сталкивается с многочисленными ограничениями и барьерами, которые, в свою очередь, порождают многочисленные вызовы и дилеммы развития. В значительной степени они касаются сырьевой, энергетической и климатической ситуации как в глобальном масштабе, в регионах и в отдельных странах. В такой ситуации обеспечение безопасности общества и экономики на всех уровнях ее проявления должно охватывать и энергетический сегмент. В современном мире оно становится одним из ведущих и решающих факторов будущего социально-экономического развития. Идея энергетической безопасности, являющаяся выражением этих стремлений, становится цивилизационным ответом на меняющиеся условия жизни общества. Как таковая она подлежит необходимой трансформации, соответствующей нынешним и перспективным условиям развития экономики и общества.

Решение проблем, возникающих в результате климатических и экономических условий, требует изменений в функционировании энергетического сектора. Это означает необходимость увязки реализации идеи энергетической безопасности с энергетической трансформацией, соответствующей текущим и перспективным условиям развития экономики и общества. Этот факт находит отражение в его когнитивно-нормативной сфере, что также заставляет воспринимать их сущность в связи с цивилизационными вызовами современного мира. Эти предпосылки заставили сосредоточить цель анализа на признании импульсов идеи безопасности и энергетической трансформации и выявлении их определений в когнитивном и нормативном измерении. Ее достижению способствует исследовательская проблема: какие идеи способствовали познавательному и нормативному восприятию энергетической безопасности и процесса энергетической трансформации в практике

ее реализации? Отвечая на этот вопрос оказалась полезной следующая рабочая гипотеза: «при отсутствии четкого понимания процесса энергетической безопасности и трансформации энергетики целесообразно и необходимо уточнить определения этих понятий для их эффективной реализации». Методами исследования, позволившими достичь поставленную цель, стали анализ литературы по теме, а также экономической практики и ее синтез, отсылающий к идее исследовательской парадигмы новой институциональной экономики. Этот анализ позволил нам разработать основы для выявления теории энергетической безопасности и энергетической трансформации. Обширная литература по данной проблеме в виде отдельных публикаций, статей и документов оказалась полезной для ее определения.

Рассуждения, предпринятые авторами в статье, будут сосредоточены, прежде всего, на определении энергетической безопасности и трансформации энергетики в научной литературе по данной теме, что позволит на следующем этапе исследования обосновать истоки возникновения проблемы энергетической безопасности и энергетической трансформации и выявить сущность данных категорий.

Обзор научной литературы. Результаты исследований

Кристаллизация идеи энергетической безопасности и трансформации энергетики нашла широкое отражение в литературе – английской, немецкой, французской, российской и польской – научной, научно-популярной и публицистической, начиная с 70-х гг. XX века. Фактором, способствовавшим этому, стал нарастающий нефтяной кризис. Его течение и последствия внесли значительный вклад в концептуализацию обеих этих категорий. В первую очередь это касалось концепции энергетической безопасности, которую ввели в сферу секьюритизации, назвав ее «включением энергоносителей в область анализа проблем безопасности, их угроз и действий по обеспечению безопасности». Это привело к появлению таких концепций энергетической безопасности,

как: energy security (англ.); Energiesicherheit (нем.); sécurité énergétique (фран.) и энергетическая безопасность (рус.); а в отношении преобразования энергии используются термины: energy transformation (англ.); Energietransformation (нем.); sécurité énergétique (фран.); энергетический переход (рус.).

Упомянутые концепции нашли отражение в документах международных политических организаций – ООН, финансовых – МВФ, Всемирного банка, торговых – ВТО, здравоохранения – ВОЗ.

В научной сфере это были прежде всего исследования американских ученых из нескольких академических центров (ведущим из них был Массачусетский технологический институт), а на европейском континенте – это следующие публикации: (Mankind, 2000), (Walesiak, 2013) (Gębska, 2022). Проблемы обеспечения энергетической безопасности также активно обсуждались в России и Беларуси: (Бушуев, 1998), (Симония, Жуков, 2008), (Жаворонкова, Шпаковский, 2012), (Зорина, Шершунович, 2019). Научные выводы по определению энергетической безопасности, путям и методам ее поддержания нашли отражение в программных правительственных документах двух стран: «Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь»¹ [2015], «Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации»² [2019].

Особого внимания заслуживают исследования, проведенные в рамках Римского клуба, в результате которых было опубликовано несколько отчетов по проблеме истощения энергетических ресурсов. Следует упомянуть следующие доклады: «Пределы роста» – 1972 г., «Человечество на переломном этапе» – 1974 г., «За новый международный порядок» – 1977 г., «Конец эпохи расточительства» – 1977 г., «Цели человечества». «Доклад Римскому клубу о новых горизонтах мирового сообщества» – 1977 г., «Энергия: обратный отсчет» – 1978 г., «Наше общее будущее» – 1987 г., «За пределами роста» – 1989 г., «Первая глобальная революция» – 1991 г., «Пересечение границ. Глобальный коллапс или безопасное будущее?» – 1991, «Множитель четыре. Двойное процве-

тание – удвоенное потребление природных ресурсов» – 1998 г., «Пределы роста. Обновление через 30 лет» – 2004 г., «Голубая экономика: 10 лет, 100 инноваций, 100 миллионов рабочих мест» – 2010 г., «2052 г. Глобальный прогноз на следующие сорок лет» – 2012 г. «Эй! Капитализм, близорукость, население и разрушение планеты» – 2018 г., «Пределы роста: сравнение модели World 3 с эмпирическими данными» – 2020 г., «Пределы и за их пределами: 50 лет после пределов роста, что мы узнали и что дальше?» (Dziurny, 2023). Изложенные в этих работах прогнозы истощения и доступности ресурсов свидетельствуют о растущей угрозе энергетической безопасности в мире.

Со временем к этим выводам присоединились другие международные и национальные центры формирования общественного мнения на всех континентах. Все они, хотя и в разной степени, затрагивали проблему истощения энергетических ресурсов и проблему энергетической безопасности, как правило, в глобальном и региональном измерении и в меньшей степени в национальном измерении. В доминирующей степени они были связаны с идеей устойчивого развития, но иногда имели и свое отдельное теоретическое направление в господствующем мировоззрении в отдельном регионе или стране. В этом контексте интересным подходом к вопросам энергетической безопасности и энергетической трансформации являются концепции и их реализация в Китае, которые заложены в национальной интерпретации истории и в философских традициях (Gasek, 2020).

Осознание растущих угроз энергетической безопасности пришло путем анализа тенденций мирового производства ископаемых энергоносителей и потребления энергоносителей. В результате роста производства и потребления энергоресурсов (за исключением периода пандемии COVID-19) выявлены весьма разнотонные и неравномерные изменения этих процессов в региональном разрезе. Данные мирового производства энергоносителей представлены в таблице 1. Объемы поставок и потребления энергоносителей по регионам мира отражены в таблице 2.

Вопросы энергетической безопасности и энергетической трансформации также нашли отражение в литературе и экономической практике в России и Беларуси. В первую очередь они включали экономический и правовой анализ мировых тенденций в энергетической сфере, угроз и принципов обеспечения энергетической безопасности, стратегических направлений развития

¹ Лидский районный исполнительный комитет, [2025]. Концепция энергетической безопасности Республики Беларусь. Постановление Совета Министров Республики Беларусь 23 декабря 2015, № 1084. [Online], URL: <https://lida.gov.by/ru/kontseptsija-energeticheskoy-bezopasnosti-rb/> (дата доступа: 03.01.2025).

² Совет Безопасности Российской Федерации, [2025]. Доктрина энергетической безопасности Российской Федерации [Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 г. № 216], [Online], URL: http://www.scrf.gov.ru/security/economic/energy_doc (дата доступа: 02.01.2025).

Таблица 1 – Мировое производство энергоносителей

Table 1 – World production of energy resources

Регионы / виды энергоносителей	Ед. изм.	2005	2010	2015	2020	2022
Мир						
Каменный уголь	млн. т.	4512,8	6042,6	6627,7	6800,0	7045,0
Сырая нефть	млн. т.	3609,0	3614,7	3867,9	4141,0	4407,0
Природный газ	млрд. куб. м.	109723	126787,2	139850	154547	146852
Африка						
Каменный уголь	млн. т.	250,7	259,1	272,5	260,2	-
Сырая нефть	млн. т.	434,6	455,0	365,1	293,9	32,3
Природный газ	млрд. куб. м.	7241,8	8115,2	7867,6	9199,6	9323,4
Южная Америка						
Каменный уголь	млн. т.	73,1	83,3	96,1	96,6	-
Сырая нефть	млн. т.	434,6	455,0	370,9	275,7	304,0
Природный газ	млрд. куб. м.	4082,3	4856,5	5114,8	4597,0	4803,1
Северная и Центральная Америка						
Каменный уголь	млн. т.	562,2	493,0	400,4	252,4	-
Сырая нефть	млн. т.	567,0	521,0	743,6	829,9	1153,6
Природный газ	млрд. куб. м.	29968,3	33193,2	39322, 8	46122,9	44371,6
Австралия и Океания						
Каменный уголь	млн. т.	267,9	310,7	425,7	426,9	-
Сырая нефть	млн. т.	24,0	23,3	18,0	10,3	18,5
Природный газ	млрд. куб. м.	1807,5	2254,5	3007,3	4630,9	5630,3
Азия						
Каменный уголь	млн. т.	2921,8	4487,3	5015,0	538,9	-
Сырая нефть	млн. т.	1553,0	1594,8	1708,1	1550,3	1912,2
Природный газ	млрд. куб. м.	29 968,3	40 631,8	49 766,5	54 472,6	53 161,6
Европа						
Каменный уголь	млн. т.	436,9	409,3	408,2	413,6	-
Сырая нефть	млн. т.	697,6	669,2	662,2	635,9	686,6
Природный газ	млрд. куб. м.	37 174,1	37 736,1	34 882,0	36 434,5	30 022,4

Источник: составлено авторами на основе данных <https://isws.ms.gov.pl/pl/baza-statystyczna/roczniki-statystyczne-gus/>.

Таблица 2 – Поставки и потребление энергоносителей по регионам мира

Table 2 – Energy supplies and consumption by world regions

Регионы / виды энергоносителей	2000	2005	2010	2015	2020	2023
Мир						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	1937	2041	2114	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	57	60	71	74	72	77
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	2472	2854	3089	3293	3941	3698
Африка						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	519	489	491	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	-	14	27	26	25	-
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	562	637	646	670	672	649
Южная Америка						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	1292	1333	1456	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	-	51	56	57	50	56
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	2219	2223	2584	2730	2509	2736
Северная и Центральная Америка						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	7913	6936	6805	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	232	230	207	198	261	86
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	10 355	10 303	9870	9546	13110	13152
Австралия и Океания						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	6115	5809	5947	1470	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	179	171	174	163	158	217
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	8354	8915	8380	7792	7327	10035
Азия						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	1031	1313	1470	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	30	46	57	60	64	67
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	1277	1701	2193	2676	3113	3318
Европа						
Потребление энергетического сырья, в угольном эквиваленте	4050	4661	4638	-	-	-
Общее энергоснабжение на душу населения, гДж	119	137	152	140	135	139
Потребление электроэнергии на душу населения, кВт/ч	5102	6522	6658	6453	6272	6313

Источник: составлено авторами на основе данных <https://isws.ms.gov.pl/pl/baza-statystyczna/roczniki-statystyczne-gus/>.

энергетического комплекса, совершенствования системы управления и повышения эффективности энергетики на основе цифровизации экономики [Балашенко, Девито, 2015], [Зорина, 2016].

В Польше эти вопросы впервые были отражены в публикациях как реакция на возникающие кризисные ситуации в сфере энергетической безопасности. Они носили преимущественно описательный характер и фокусировались на текущем, а не на перспективном восприятии.

Со временем интерес к этому вопросу возрос. В настоящее время существуют теоретические обобщения данной проблемы с учетом его аналитического и перспективного характера. Их тематический охват весьма разнообразен и все чаще приобретает междисциплинарный характер [Kielkowska & Machalski, 2024]. Надо признать, что в настоящее время объем теоретического осознания этой проблемы еще далек от удовлетворительного, что по-прежнему приводит к поверхностному ее восприятию в практике социально-экономической жизни лицами, принимающими политические и экономические решения. Неправительственные организации, осуществляющие деятельность в области возобновляемых источников энергии, оказываются полезными в этом отношении, а в Польше – это Форум по развитию возобновляемой энергетики. Их можно рассматривать как попытку разработать и систематизировать методический аппарат исследования проблем энергетической безопасности и энергетической трансформации.

Определение энергетической безопасности, как в науке, так и в практике, постоянно меняется: от восприятия через призму критериев самодостаточности и независимости до взаимозависимостей, связывающих экономику с экологией, как на национальном уровне, так и на наднациональном уровне и международном уровнях. Исследовательская перспектива энергетической безопасности эволюционировала от традиционных геополитических и экономических измерений к современным экологическим, социальным и институциональным измерениям, располагая ее на различных уровнях. Это означает расширение измерений и их масштабов, а также уровней их возникновения, что доказывает эволюцию восприятия проблем энергетической безопасности в соответствии с цивилизационными вызовами современного мира, направленными на стремление к экономному использованию энергоносителей, поиск альтернативных источников энергии и использование

энергии, получаемой путем переработки [Kielkowska & Machalski, 2024].

Эволюция представлений об энергетической безопасности доказывает необходимость постоянных адаптивных изменений, расширяющих ее объективные, субъективные, пространственные и временные рамки. В совокупности они образуют базовый набор условий его формирования, который должен учитывать все состояния функционирования государства (мир, угроза, кризис). Каждый из них требует принятия различных мер для формирования желаемой энергетической безопасности в конкретной ситуации. Все эти проблемы проявляются в эволюции подходов к энергетической безопасности от традиционных к современным. Их общей чертой является содержательная основа, содержащаяся в идее энергетического треугольника, сутью которого является сбалансированный подход к трем приоритетным вопросам: безопасности, справедливости и устойчивого развития³.

В традиционном подходе к энергетической безопасности главным ее элементом является геополитическое измерение, что проявляется в безопасности поставок конкретного энергетического сырья и его источников. Это предполагает необходимость принятия государством энергетической стратегии, на основе которой будет осуществляться выбор в отношении использования конкретных энергоносителей и политики их реализации. Они должны основываться на всех критериях идентификации среды энергетической безопасности: политических, экономических, экологических, институциональных и социальных. Считается, что первые два из них оказывают наибольшее влияние на уровень энергетической безопасности страны, поскольку определяют детерминанты стратегии и политики энергетической безопасности, очерчивая рамки национальных возможностей получения и использования, а также необходимые международные действия для обеспечения доступности энергоносителей. При этом они указывают на вопросы политической и экономической зависимости и зависимости от владельцев энергоресурсов. В этом измерении основными уровнями анализа энергетической безопасности являются национальный уровень, но он тесно связан с глобальным и региональным уровнями.

³ World Economic Forum, [2023]. Securing the Energy Transition – white paper, [Online], URL: https://www3.weforum.org/docs/WEF_Securing_the_Energy_Transition_2023.pdf [Accessed: 29.12.2024]

Традиционный подход к энергетической безопасности включает также экономическое измерение. Это считается очень важным, но производным от геополитического измерения. Он состоит из четырех основных элементов: структуры глобального энергетического баланса; тенденции спроса и предложения на мировом энергетическом рынке; уровень цен на поставляемые энергоносители; и взаимосвязь между потреблением и экономическим ростом. На уровне государства, предприятия и домохозяйства это свидетельствует о прочных связях между энергетической и экономической безопасностью, которые имеют характер обратной связи, как усиливающих, так и ослабляющих взаимовлияние. На государственном уровне существующие отношения должны отражать интересы всех участников энергетической безопасности страны, что выражается в создании механизмов сотрудничества, не только согласовывающих интересы поставщиков (производителей) и получателей (потребителей), но и укрепляющие сотрудничество между ними на основе взаимного доверия. При этом важно включить местные органы власти в число потребителей энергии. Энергетическая безопасность должна обеспечиваться не только центральными органами государственного управления, но и региональной (местные органы власти) и местной (предприятия, население) администрацией. В свою очередь, на региональном и глобальном уровне взаимосвязь экономической и энергетической безопасности раскрывается в сфере международных торговых отношений, как со стороны экспортеров сырья, стремящихся получить высокие и стабильные доходы, так и их импортеров, с целью обеспечить энергетическую безопасность от ненадежных поставщиков [Pronińska, 2012].

В настоящее время эволюция исследований энергетической безопасности указывает на необходимость учитывать, помимо геополитического и экономического измерений, также экологические, институциональные и социальные измерения. Экологическому измерению энергетической безопасности уделяется очень большое внимание. Решения, принимаемые в этой области, направлены, прежде всего, на снижение негативного воздействия использования отдельных энергоносителей на природную среду. Такой подход соответствует реализации концепции устойчивого развития, которая обременяет как поставщиков (производителей, экспортеров, импортеров), так и получателей энергоресурсов экологическими проектами. Они рассматриваются как

требование взаимозависимого и неделимого мышления об энергетической безопасности.

В институциональном измерении принципы формирования энергетической безопасности формулируются как национальными, так и международными институтами. Они адресованы производителям, поставщикам и получателям энергоносителей. Очень важным, но часто упускаемым из виду аспектом восприятия энергетической безопасности является социальный аспект. Это отражается в увязке энергетической безопасности с социальной безопасностью как отражение многоуровневого характера реалистичного подхода к парадигме безопасности, воспринимаемой на многих уровнях. Речь идет о возможности широкого использования энергоресурсов обществом при приемлемом уровне цен и гарантии надежности поставок. Он имеет прочные связи с социальным обеспечением, уровнем и качеством жизни, степенью удовлетворенности экономическим положением и уверенностью в будущем.

Современное восприятие энергетической безопасности подчеркивает ее многоуровневый характер, учитывающий такие факторы, как: цена, качество, безопасность поставок, экология и необходимость принятия индивидуальных и совместных действий для ее достижения всеми участниками энергетического рынка. Реалии современного мира доказывают, что энергетика имеет стратегическое значение, а энергетическая безопасность является ключевым элементом экономической безопасности страны и, следовательно, ее национальной безопасности. Оно определяется, с одной стороны, национальным предложением энергетических ресурсов, а с другой – концепцией геоэкономики, основанной на использовании экономических инструментов для достижения геополитических выгод и продвижения национальных интересов на мировом рынке. Это один из основных элементов, определяющих возможность обеспечения безопасности каждой страны и возможность устойчивого развития [Kamrat, 2023].

В настоящее время роль энергетической безопасности приобретает дополнительное значение, поскольку растет спрос на энергию, энергетическое сырье и топливо. Это вызвано многочисленными факторами политического, правового, экономического, технического, технологического и экологического характера. Важное значение имеют не только месторождения энергоресурсов, расположенные на территории конкретной страны, но и политика диверсификации источников, что является

ся основой бесперебойного социально-экономического функционирования страны и существенно влияет на качество жизни общества [Kłodzinski & Stachowiak, 2024].

Генезис, сущность и дилеммы энергетической безопасности

Энергетическая безопасность – категория, которая как в субъективном, так и в объективном плане является частью широко понимаемой безопасности, воспринимаемой как одно из обычных явлений повседневной жизни индивидов и обществ, осознаваемая интуитивно и не поддающаяся четкому определению [Potrzeszcz, 2014]. В самом общем смысле это универсальная ценность, означающая состояние отсутствия угрозы. Она охватывает обширные сферы влияния, позволяющие выделить множество ее элементов, каждый из которых относится к определенной сфере деятельности данного субъекта (общества, государства).

Большинство определений безопасности фокусируются на ее объективном и субъективном уровнях, имея в виду этимологическое восприятие безопасности как «состояния отсутствия угрозы, душевного спокойствия». При этом состояние безопасности объективно и касается наличия или отсутствия реальных угроз, не связанных с чьим-либо восприятием. В свою очередь, субъективное чувство безопасности означает осознание существования угроз. Упомянутый подход нашел отражение в ряде определений энергетической безопасности и ее восприятии.

Анализ категории энергетической безопасности, упоминаемый в литературе, посвященной вопросам энергетической среды [Adamiec & Jarosz-Krzemińska, 2022], всегда связывает ее с людьми (обществом, нацией, международным сообществом), субъектами социально-экономической жизни. (домохозяйство, предприятие, государство), предметная область (традиционная энергетика, современная энергетика), сфера реализации (страна, регион, мир), взаимоотношения с другими элементами безопасности (биологическая, экологическая, экономическая, гуманитарная, идеологическая, культурная, военная, политическая, социальная и др.).

Часто вопрос энергетической безопасности находится в сфере экономической безопасности вместе с сырьевой, технико-технологической, инфраструктурной и рыночной безопасностью. В каждом из них подчеркивается финансовая сторона ее реализации, как с точки зрения затрат, так и возможных выгод. Это также означает необходимость проведения экономического и

финансового анализа, позволяющего выявить слабые стороны (угрозы) и сильные стороны (возможности усиления). Эти проблемы отмечаются в литературе, где упоминается множество определений энергетической безопасности, часть из которых носит когнитивный, а часть нормативный характер. Все они доказывают многоаспектность охватываемых ею проблем, которая по сути сводится к подходу, подчеркивающему способность национальной экономики обеспечивать текущих и перспективных энергоносителями отечественных потребителей по социально приемлемым ценам и при сохранении политической независимости [Stachowiak, 2013].

В совокупности когнитивных определений сущностью энергетической безопасности является ее восприятие как категории, охватывающей все вопросы, связанные с обеспечением выживания и свободы реализации национальных интересов в неопределенной или враждебной (опасной, рискованной) энергетической среде, преимущественно путем использования преимуществ и возможностей, принятия вызовов, снижения рисков и противодействия энергетическим угрозам, которые должны привести к отсутствию угрозы прерывания надежных и достаточных поставок энергетического сырья по доступным ценам. Это означает «наличие достаточных запасов сырья по доступной цене», что «требует постоянной приверженности и внимания – как сегодня, так и в будущем» [Yergin, 2006], что обеспечивает «гарантированность поставок энергетического сырья для обеспечения основных потребности стран в ситуациях международного кризиса или конфликта», а также «гарантирование достаточных поставок энергии для удовлетворения основных потребностей сейчас и в будущем, а также диверсификация источников энергии и инвестирование в экологически чистое, возобновляемое сырье, такое как солнечная энергия, биомасса или ветряные электростанции» [Klage, 2008]. Нормативные определения категории «энергетическая безопасность» представлены в таблице 3.

Дискуссия по определению энергетической безопасности состоит в том, что, хотя и признается подход, что не существует единого, универсального определения, тем не менее, наиболее полное ее понимание возможно, если основные тезисы ее идентификации указаны в отношении следующих позиций:

- энергетический сектор, рассматривая его как бесперебойный и надежный доступ к возобновляемым ис-

Таблица 3 – Нормативные определения категории «энергетическая безопасность»

Table 3 – Regulatory definitions of the category «energy security»

Страна / организация / документ	Определение	Источник
На международном уровне		
ПРООН и Европейская комиссия	«наличие энергии в любое время и во всех формах в соответствующих количествах и по разумным и/или достижимым ценам»	United, 2000 ⁴ ; Rezolucja, 2009 ⁵
Зеленая книга	«бесперебойное наличие энергетических продуктов на рынке по доступной цене для всех потребителей, с уважением к окружающей среде и обеспечением устойчивого развития»	Zielona, 2006 ⁶
Международное энергетическое агентство (МЭА)	«бесперебойная физическая доступность поставок по доступной цене, используемых в гармонии с окружающей средой»	International, 2022 ⁷
Центр стратегических и международных исследований (CSIS)	«постоянная способность государства поддерживать свое функционирование без серьезных сбоев»	Ang, Choong, Ng, 2015
Исследовательский центр Азиатско-Тихоокеанской энергетики	«обеспечение достаточных поставок энергии по доступным и стабильным ценам для достижения эффективности и экономического роста»	Misiagiewicz, 2019
На национальном уровне		
Российская Федерация	«состояние защищенности экономики и населения страны от угроз национальной безопасности в сфере энергетики, при котором обеспечивается выполнение предусмотренных законодательством Российской Федерации требований к топливно- и энергоснабжению потребителей, а также выполнение экспортных контрактов и международных обязательств Российской Федерации»	Доктрина, 2019 ²
Республика Беларусь	«энергетическая безопасность – состояние защищенности граждан, общества, государства, экономики от угроз дефицита в обеспечении их потребностей в энергии экономически доступными энергетическими ресурсами приемлемого качества, от угроз нарушения бесперебойности энергоснабжения»	Концепция, 2015 ¹
Польша, Закон об энергетике	«состояние экономики, обеспечивающее покрытие текущего и перспективного спроса потребителей на топливо и энергию технически и экономически обоснованным способом при сохранении требований по охране окружающей среды»	Ustawa, 1997 ⁸
Министерство экономики	«обеспечивает стабильные поставки топлива и энергии на уровне, гарантирующем удовлетворение национальных потребностей, и по приемлемым для экономики и общества ценам, предполагая оптимальное использование внутренних энергетических ресурсов и диверсифицируя источники и направления поставок топлива и энергии». «Сырая нефть, жидкое и газообразное топливо»	Polityka, 2009 ⁹

⁴ United Nations Development Programme, [2000]. World Energy assessment, [Online], URL: <https://www.undp.org/sites/g/files/zskgke326/files/publications/World%20Energy%20Assessment-2000.pdf> [Accessed: 03.01.2025].

⁵ An official website of the European Union, [2024]. Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 17 września 2009 r. w sprawie zewnętrznych aspektów bezpieczeństwa energetycznego, [Online], URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriSer.PL:PDF> [Accessed: 29.12.2024].

⁶ An official website of the European Union, [2024]. Zielona Księga. Europejska strategia na rzecz zrównoważonej, konkurencyjnej i bezpiecznej energii. Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela dnia 8.3.2006, wersja ostateczna, [Online], URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52006DC0105> [Accessed: 29.12.2024].

⁷ International Energy Agency, [2022]. Energy Security, [Online], URL: <https://www.iea.org/topics/energy-security> [Accessed: 29.12.2024].

⁸ Internetowy System Aktów Prawnych, [2024]. Ustawa z 10 kwietnia 1997 r. Prawo energetyczne, [Online], URL: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=wdu19970540348> [Accessed: 29.12.2024].

⁹ Polityka Energetyczna Polski do 2030 r. [2009], Ministerstwo Gospodarki, Warszawa, Polska.

Окончание таблицы 3 – Нормативные определения категории «энергетическая безопасность»

End of Table 3 – Regulatory definitions of the category «energy security»

Министерство климата и окружающей среды	«сопротивление энергетической системы исключительным и непредсказуемым событиям, которые могут поставить под угрозу физическую целостность энергетических потоков или привести к неуправляемому росту ее цен независимо от экономических причин» и «это такое состояние экономики, которое обеспечивает покрытие текущий и перспективный спрос потребителей на топливо и энергию в технически и экономически обоснованном порядке при минимальном негативном воздействии энергетической отрасли на окружающую среду и условия жизни общества»	Bezpieczeństwo energetyczne, 2015
Документы по энергетической политике Польши до 2040 г.	«текущее и перспективное удовлетворение топливно-энергетических потребностей потребителей технически и экономически обоснованным способом при сохранении требований охраны окружающей среды»	Polityka energetyczna, 2021 ¹⁰

Источник: составлено авторами.

точникам энергии; энергетический рынок, включающий распределение энергетических ресурсов и инфраструктуру;

- доступность энергетического сырья ввиду его дефицитности и исчерпаемости;
- тенденции спроса на энергетическое сырье и его изменения;
- ориентация на государство и/или международную среду;
- инструмент геополитического или экономического (экономического) влияния;
- логика, ориентированная на национализацию сырьевых рынков или их либерализацию;
- тенденции конфронтации или сотрудничества;
- решения, ориентированные на зависимость страны / региона или взаимозависимость стран/регионов.

В этой ситуации правомерен тезис, что определение энергетической безопасности зависит от ее восприятия и анализа. Это, в свою очередь, зависит от внутренних и внешних условий ее формирования, а, следовательно, и от значительного комплекса факторов воздействия.

Приведенные определения, как когнитивные, так и нормативные, а также обозначенная ими когнитивная область тесно связаны с другими видами национальной безопасности, особенно с такими ее элементами, как политическая (Bartodziej & Tomaszewski, 2009), экономическая (Stachowiak & Stachowiak), технико-технологическая (Toffler & Toffler, 1996), экологическая (Maślak, 2017), социальная и другие. Каждый из них накладывает

на государство определенные обязательства и необходимость реализации проектов, соответствующих им.

В литературе встречаются определения энергетической безопасности, относящиеся к глобальному или региональному измерению. В этом отношении это имеет решающее значение в условиях сокращения сырьевых ресурсов и увеличения спроса на них, что приводит к ограничению физического доступа к ним из-за роста цен на мировых рынках. Эта ситуация затем выливается в барьеры на пути экономического и социального развития региона и страны мира. Это означает, что восприятие энергетической безопасности в международном измерении (глобальном и региональном) обнаруживает далеко идущую специфику по отношению к ее национальному измерению. Он географически дифференцирует сферу энергетической безопасности, что требует обращения к разным допущениям, требующим учета как внутренних, так и внешних интересов отдельных стран. В таких условиях энергетическая безопасность представляется динамичным и весьма сложным, многоаспектным, многоаспектным и многоуровневым процессом, охватывающим многие сферы экономической и социальной жизни (Młynarski, 2011).

Общие определения энергетической безопасности, упоминаемые в научных источниках, детализируются в зависимости от типа энергоносителя, включая нефть, газ, уголь, ядерные и нетрадиционные источники. Их познавательная ценность сводится, прежде всего, к указанию роли данного энергетического сырья в совре-

¹⁰ Portal Gov.pl [2021]. Polityka Energetyczna Polski do 2040 r., [Online], URL: <https://www.gov.pl/web/klimat/polityka-energetyczna-polski> (Accessed: 29.12.2024).

менной энергетической системе страны. Это позволяет провести сравнительный анализ их роли и значения для общества и экономики, а также адаптироваться к вызовам современного мира.

Приведенные выше определения энергетической безопасности относятся прежде всего к государственному измерению. Такой подход, хотя и кажется правильным, игнорирует интересы других субъектов национальной экономики и общества, то есть предприятий и домохозяйств. Учитывая это, разумно требовать, чтобы они охватывали вопросы энергетики всех субъектов социальной, экономической и общественной жизни. Это означает, что в проводимых определениях под энергетической безопасностью будут пониматься интересы всех экономических субъектов как их способность функционировать без сбоев, связанных с физической доступностью поставок энергетического сырья, удовлетворяющего их потребности.

Определения энергетической безопасности также указывают на направления и принципы ее развития. Важнейшими считаются следующие: диверсификация поставок энергетического сырья, которая рассматривается как отправная точка для его развития; поддержание «запаса прочности» с учетом таких элементов, как свободные производственные мощности, объем стратегических резервов; соответствующий размер энергетической инфраструктуры; повышение энергоэффективности и гибкости энергетического сектора; опора на гибкие энергетические рынки; осуществление инвестиционной деятельности для увеличения разнообразия и множественности ключевой энергетической инфраструктуры; понимание взаимной взаимозависимости компаний и органов власти на всех уровнях топливно-энергетического комплекса и ориентация на их коллективное сотрудничество; признание взаимозависимости между производителями (поставщиками) и потребителями энергетического сырья и необходимости основывать ее на сотрудничестве; гибкость сырьевых рынков; обеспечение физической энергетической безопасности импортеров и экспортеров; информирование населения о проблемах формирования энергетической безопасности; регулярные инвестиции в современные технологии; вовлечение стран в научно-исследовательскую деятельность и инновационную деятельность с целью обеспечения долгосрочного баланса энергетического баланса и желаемых направлений его трансформации (Pronińska 2012; Misiągiewicz, 2019).

Представленная система направлений и принципов действий раскрывает как реалистичный подход, подчеркивающий вовлеченность мирового сообщества во множество вызовов, раскрывающих угрозы развития, которые позволяют рассматривать энергетическую безопасность как элемент глобальной, региональной и национальной политики; так и идеалистический, предполагающий необходимость ослабления конфликтов относительно доступа к энергоресурсам и ориентацию на разрешение конфликтов на основе долгосрочного сотрудничества и рыночной взаимозависимости отдельных стран и регионов.

Генезис, сущность и дилеммы энергетической трансформации

Концепцией, тесно связанной с энергетической безопасностью, является концепция энергетической трансформации. Ее содержание отсылает к термину трансформация (от лат. *Transformatio*), означающему преобразование, и используемому многими науками (биологией, медициной, математикой, лингвистикой, физикой, науками об организации и управлении и др.). Его также описывают как изменение, переход из одного состояния в другое вместе с изменением характеристик «объекта», к которому оно относится.

Сама концепция энергетической трансформации означает, по сути, изменения в энергетической системе, которые сводятся к модификации экономики и существующих энергетических сетей с целью снижения степени зависимости от ископаемого топлива и повышения энергоэффективности. Это процесс модификаций, также направленный на снижение негативного воздействия на природную среду, климат и здоровье населения.

Ее истоки следует искать в изменениях, произошедших после Второй мировой войны, когда большинство стран мира попытались восстановиться после принесенных ею разрушений и решили ускорить свое развитие. Это повлекло за собой необходимость радикального увеличения потребления невозобновляемых источников энергии, то есть ископаемого топлива: угля, газа и сырой нефти. Следствием такой ситуации стали ранее неучтенные выбросы углекислого газа. Эта проблема была официально признана на международном уровне лишь в конце 1980-х гг. (ВМО – Мир, 1988). В 1989 г. на 14-й Всемирной энергетической конференции в Монреале были обозначены основные направления развития энергетики: энергоэффективность, воздействие на окружающую среду и экономическая эффективность. Вскоре после

этого в 1990 г. Генеральная Ассамблея ООН приняла резолюцию о начале переговоров по борьбе с изменением климата. Результатом этого стала разработка в 1992 г. Рамочная конвенция ООН об изменении климата. Эта инициатива неоднократно предпринималась на многих международных форумах в последующие годы и по сей день.

Идеи этой инициативы также нашли отражение в отдельных польских нормативных документах, указывающих на необходимость проведения энергетической трансформации.

Это прежде всего «Энергетическая политика Польши до 2040 г.»¹⁰ – 2021 г., и «Национальный энергетический и климатический план на 2021–2030 гг.», согласованный с Европейской комиссией – 2019 г.

В Республике Беларусь в нормативных документах определено, что развитие энергетики страны должно осуществляться путем развития собственной энергосырьевой базы, диверсификации топливно-энергетических ресурсов по видам и странам, снижения энергоемкости валового внутреннего продукта. По сути это и можно определить, как направления энергетической трансформации¹¹. На правительственном уровне и в научной среде широко обсуждается направление цифровой трансформации энергетической отрасли, которое можно рассматривать как важнейший элемент энергетической трансформации в целом. Однако нормативная база по данному вопросу находится пока на стадии разработки.

В актуальных польских научных публикациях нет единого универсального определения энергетической трансформации. Наиболее часто упоминаемые определения носят когнитивный и нормативный характер, как и в случае с энергетической безопасностью.

Когнитивные определения категории «энергетическая трансформация», представленные в зарубежных и отечественных научных источниках, содержатся в таблице 4.

В нормативном отношении энергетическая трансформация определяется следующим образом:

– в Республике Беларусь, долгосрочной целью развития энергетического комплекса, исходя из официаль-

ных правительственных документов, является удовлетворение потребностей экономики и населения страны в энергоносителях на основе их максимально эффективного использования при снижении нагрузки на окружающую среду¹¹.

– в Польше, по данным Национальной энергетической политики до 2030 года – это реализация целей и мероприятий, «осуществляемая... при активной роли конечного потребителя и вовлечении отечественной промышленности, дающая импульс экономике, обеспечивающая энергетическую безопасность, и инновационный, социально приемлемый способ с уважением к защите окружающей среды»¹².

При определении энергетической трансформации важно отметить роль условий, которые влияют на нее. Доминирующими подходами здесь являются технологические, ресурсные, климатические, субъективные, нормативные и медицинские.

Технологический подход к трансформации энергетики отражает изменения, происходящие в энергетической системе, вызванные цивилизационными вызовами современного мира на технико-технологической основе. Их следует воспринимать как проекты, ведущие к изменению структуры топлива, используемого в производстве энергии, и изменению технологии его производства. Это означает переход от экономической системы, зависящей от одного или нескольких источников энергии и связанных с ними технологий, к другой системе, основанной на диверсифицированных источниках энергии и связанных с ними технологиях. Такой подход указывает на то, что трансформация энергии – это процесс, сопровождающий человечество с древних времен, имеющий весьма разнообразные этапы и разную степень сложности. Их характерной особенностью является рост спроса на энергию, что выражается в расширении исчерпаемости невозобновляемых источников энергии.

Преобразование энергетики в этом подходе учитывает такие формы реализации, как: преодоление ограничений в доступности традиционных возобновляемых источников энергии (биомасса, древесина) за счет ископаемого топлива (уголь); адаптация к увеличению транспортных потребностей и концентрации энергопотребления в местах, связанных с развитием экономики,

¹¹ Президент Республики Беларусь, [2025]. Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 года № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства», [Online], URL: <https://president.gov.by/ru/belarus/economics/osnovnye-otrasli/energetika> (Accessed: 2.01.2025).

¹² Polityka Energetyczna Polski do 2030 r. [2021]. Ministerstwo Ochrony Środowiska i Klimatu, Warszawa, Polska.

Таблица 4 – Когнитивные определения категории «энергетическая трансформация»

Table 4 – Cognitive definitions of the category «energy transformation»

Определения	Источник
«специфический характер спроса и предложения энергии, как в количественном, так и в качественном отношении, ..., заключался в замене прямого использования ископаемого топлива (особенно угля) чистыми, универсальными источниками энергии из сети (газ и электричество) представляют собой часть долгосрочных изменений в направлении более эффективного и чистого энергоснабжения и его использования конечными пользователями»	Grubler, 2015
«переход от экономической системы, зависящей от одного или ряда источников энергии и технологий, к другой системе»	Fouquet & Pearson, 2012
«глобальные качественные изменения, происходящие в сферах производства энергии и энергопотребления...». В российских источниках используется термин энергетический переход (Energy Transition)	Сизов, 2024
«трансформация энергетической системы» предполагает достижение целей устойчивого развития и включает: модернизацию и развитие генерирующих источников, электрических и тепловых сетей путем внедрения высокоэффективного оборудования; применение передовых технологий с выводом из эксплуатации неэкономичных и устаревших объектов генерации; вовлечение в топливный баланс собственных энергетических ресурсов с учетом экономической и экологической целесообразности; диверсификацию видов и поставщиков топливно-энергетических ресурсов, в том числе за счет строительства возобновляемых источников и использования атомной энергии	Зорина, 2021; Трансформация, 2019 ¹³
«является одной из ключевых глобальных задач... направлена на преобразование мировой экономики из высокоуглеродной в диверсифицированную и устойчивую. ...требуется необходимость ликвидации или значительного сокращения использования угля и других видов ископаемого топлива в экономике. ...требуется, в частности, увеличение производства энергии из возобновляемых источников и улучшение показателей энергоэффективности»	Kardaś, 2024
«процесс перехода от данного источника энергии или категории источников энергии», который предполагает «отход от ископаемого топлива (сырой нефти, природного газа, каменного угля и бурого угля) и технологий на их основе», который «направлен на формирование системы, основанной на возобновляемых источниках энергии или источниках с низким уровнем выбросов вредных для атмосферы веществ (пыль, парниковые газы), например, ядерные технологии (традиционные реакторы или модульные технологии)»	Koczan & Alkan, 2022
«процесс в энергетическом секторе постепенного отказа от ископаемого топлива в пользу возобновляемых источников энергии и безуглеродной ядерной энергии при одновременном повышении энергоэффективности. В более широком аспекте он также охватывает процесс изменения экономики и энергетических сетей, чтобы сделать их более устойчивыми»	Machalski, 2024
«динамические процессы на национальном или глобальном уровне, которые посредством изменений в способах производства и использования энергии влияют на устойчивое развитие экономики и общества». которые касаются «не только предприятий, но и отдельных потребителей энергии или местных органов власти, которые играют ключевую роль в противодействии негативному воздействию человеческой деятельности на окружающую среду»	Гданьский технолог. ун-т и Ун-т Николая Коперника; Transformacja, 2024

Источник: составлено авторами.

¹³ Министерство энергетики Республики Беларусь, (2025). Трансформация энергетической системы Республики Беларусь в целях устойчивого развития. Первый Национальный форум по устойчивому развитию, 24 января 2019 г., Минск, [Online], URL: <https://www.minenergo.gov.by/press/novosti/transformatiya-energeticheskoy-sistemy-respubliki-belarus-v-tselyakh-ustoychivogo-razvitiya/> [Accessed: 03.01.2025].

что потребовало развития транспортной сети и передачи энергии на большие расстояния с использованием специализированной инфраструктуры для передачи электроэнергии, природного газа и сырая нефть; ориентация на создание инфраструктуры для производства атомной энергии [Graszuk, 2023]. Все указанные формы реализации энергетической трансформации, возникающие в результате технологических предпосылок, подкрепляются неблагоприятными климатическими и природными условиями развития¹⁴ и вытекающими из этого адаптационными мероприятиями в связи с утратой биоразнообразия, нерациональным потреблением природных ресурсов, деградацией природных ресурсов. поверхности суши и экосистем, быстрая урбанизация, изменения в демографической структуре населения, усиление социального и экономического неравенства, выявленные пандемические явления¹⁵.

Климатические элементы, указанные в определениях энергетической трансформации, указывают на ее тесную связь с климатической политикой. В литературе по этой теме часто подчеркивается, что ее компонентом является преобразование энергии. Их совместное воздействие, заключающееся в переходе на более устойчивые источники энергии (солнечная энергия, энергия ветра, геотермальная энергия), направлено на ограничение негативного воздействия деятельности человека на природную среду в условиях изменения климата, которое отражается на сокращении выбросов углекислого газа и других парниковых газов. Эти ограничения, являясь выражением энергоэффективности, способствуют снижению спроса на энергию и сокращению так называемого углеродный след. Эффекты этих решений призваны привести к достижению климатической нейтральности, то есть баланса между выбросами парниковых газов и их хранением и улавливанием естественной экосистемой, особенно водой, почвой и лесами. Ресурсный подход к трансформации энергетики ориентирован на максимальное использование возобновляемых источников энергии и оптимальное и рациональное использование получаемых из них ресурсов. Эта дея-

тельность касается всех сфер жизни и реализуется на многих уровнях [Adamiec & Jarosz-Krzemińska, 2022].

Важным вопросом, который необходимо признать в отношении преобразования энергии, является его высокие издержки, обусловленные, главным образом, высокими инвестиционными затратами, которые он порождает. Следствием такой ситуации является осознание социальных затрат при ее реализации, что может привести к нарушениям общественного порядка [Czy Polska, 2024].

Субъективный подход, отраженный в определениях трансформации энергетики, указывает на широкий круг субъектов, участвующих в процессе трансформации энергетики. Реализация их намерений основана на правовых положениях, определяющих их обязательства и ограничения, которым они должны соответствовать.

Энергетическая трансформация реализуется в различных формах: от замены источников энергии до их возобновления и управления ими с целью обеспечения энергетической независимости и стабильного энергообеспечения. Они адаптированы к рыночному управлению, заключающемуся в ограничении монополизации энергетического рынка в пользу его диверсификации.

Все вышеперечисленные подходы, учитывая технологические, ресурсные, климатические, нормативные и санитарные критерии, позволяют определить рамки процесса преобразования энергии с точки зрения его эффективности при внедрении и использовании новых низко- или нулевых по выбросам технологий, позволяющих производить энергию в объемах и видах, отвечающих вызовам современного мира. Это необходимо учитывать в процессах преобразования энергии, формирования чистой энергетической среды и, следовательно, при достижении желаемого уровня энергетической безопасности в мировом, региональном и национальном масштабах. Схема энергетической трансформации в процессе формирования энергетической безопасности представлена на рисунке 1.

Применительно к отдельным людям и коллективам, воспринимаемым как общество, на него влияют повышение экологического сознания и прекращение негативных климатических изменений, отрицательно влияющих на состояние природной среды, на основе перехода от ископаемого топлива (в первую очередь угля) в пользу возобновляемые источники энергии. Однако применительно к субъектам хозяйствования это означает обязанность адаптировать свою деятельность

¹⁴ Konferencja Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu, Paryż 2015, [2015], [Online], URL: https://pl.wikipedia.org/wiki/Konferencja_Narod%C3%B3w_Zjednoczonych_w_sprawie_Zmian_Klimatu,_Pary%C5%BC_2015 (Accessed: 29.12.2024).

¹⁵ The Intergovernmental Panel on Climate Change, (2021). Zmiana klimatu 2022: Zagrożenia, adaptacja i wrażliwość. Podsumowanie dla decydentów, [Online], URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/downloads/outreach/Raport_IPCC_cz2_29_11_22_OST.pdf (Accessed: 29.12.2024).



Рисунок 1 – Схема энергетической трансформации в процессе формирования энергетической безопасности
 Figure 1 – Energy Transformation Scheme in the Process of Forming Energy Security

Источник: составлено авторами.

в энергетической сфере к современным тенденциям и направлениям развития энергетической отрасли.

Упомянутые выше подходы к трансформации энергетики доказывают необходимость их долгосрочного и параллельного учета и применения, ориентированного, прежде всего, на энергосбережение и повышение энергоэффективности. Основой этой деятельности является активная поддержка решений по устойчивому социально-экономическому развитию.

Выводы

В современном мире, отягощенном непредсказуемостью природных, климатических и экологических изменений, а также истощением природных ресурсов – особенно энергетических, социально-экономическое развитие сталкивается с многочисленными ограничениями и барьерами, которые, в свою очередь, порождают проблемы и дилеммы. Они охватывают широкий спектр проблем как в глобальном масштабе, так и в регионах и отдельных странах. В процессе обеспечения безопасности глобального общества на всех уровнях

ее проявления это заставляет учитывать состояние развития энергетического сектора, который в современном мире становится одним из ведущих и определяющих экономическое развитие и повышение уровня и качества жизни общества. Выражением этих стремлений является идея энергетической безопасности как ответа на цивилизационные вызовы, предполагающая в то же время необходимость ее трансформации, отвечающей текущим и будущим условиям развития глобальной экономики и общества с учетом ситуации регионов мира и отдельных стран.

Обоснование идеи энергетической безопасности, и ее реализация на основе процессов энергетической трансформации, соответствующих нынешним и перспективным условиям развития экономики и общества, требует восприятия их в познавательной и нормативной сфере в связи с цивилизационными вызовами современного мира. Эти предпосылки заставили нас сосредоточить внимание на признании импульсов идеи безопасности и энергетической трансформации как

предпосылок построения основ социально-экономической безопасности в глобальном, региональном и национальном измерениях.

Определение категорий энергетической безопасности и энергетической трансформации, как в когнитивном, так и в нормативном измерениях, требует исследовательского подхода, основанного на анализе литературы по теме и экономической практике, и синтезе его эффектов с учетом идей парадигмы новой институциональной экономики. Принятая исследовательская задача и подтверждающая ее рабочая гипотеза оказались полезными для достижения поставленной цели. Обширная литература по этой теме в виде научных публикаций, статей и документов оказалась полезной для определения обеих категорий.

Дискуссия вокруг категорий энергетической безопасности и энергетической трансформации доказала, что не существует единого, универсального определения. Принимая существующие дефиниции, целесообразно их дальнейшее уточнение с указанием областей идентификационных признаков. Такой подход оправдан тем, что их понимание зависит от контекста их восприятия и анализа, который, в свою очередь, зависит от

значительного набора факторов, его формирующих. Они тесно связаны с другими видами безопасности мира, региона, государства, особенно с такими ее элементами, как: политическая, экономическая, технологическая, экологическая, социальная и другие.

Следует согласиться с мнением тех, кто считает, что категории энергетической безопасности и энергетической трансформации весьма неточны. Это подтверждается как зарубежной, так и отечественной литературой по данной теме. Следует также согласиться с тезисом о том, что концепции энергетической безопасности и энергетической трансформации далеки от разработанности на научном уровне и неточны на нормативном плане. Что касается измерения когнитивных определений, доминирующими оценками представленных категорий являются: трудные, неуловимые, лишенные характерных детерминант, спорные и не обнаруживающие консенсуса. В отношении нормативного измерения определений преобладают оценки: двусмысленные, неточные, размытые, сложные или плохо определенные. Это означает необходимость продолжения исследовательской работы по выявлению обеих анализируемых категорий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Балашенко, С.А., Девиго, В., Жлоба А.А., Мороз, О.В. и Нунан, К. [2015]. Энергетическая политика в Республике Беларусь и штате Массачусетс (США): сравнительно-правовой анализ. *Вестник БДУ*, Сер. 3. № 1, С. 65–69.
- Бушуев, В.В. [1998]. *Энергетическая безопасность России*. Новосибирск: Наука, Российская Федерация.
- Жаворонкова, Н.Г. и Шпаковский, Ю.Г. [2012]. Энергетическая безопасность в системе национальной безопасности современной России. *Право и безопасность*, 2012, № 1, С. 70–75.
- Зорина, Т.Г. [2016]. *Формирование стратегии устойчивого энергетического развития*. Минск: Мисанта, Республика Беларусь.
- Зорина, Т.Г. [2021]. Трансформация энергетического комплекса Республики Беларусь: от энергобезопасности к концепции устойчивого развития. *Белорусский экономический журнал*, № 4, С. 27–40.
- Зорина, Т.Г. и Шершунович Е.С. [2019]. Энергетическая безопасность Республики Беларусь: методы оценки. *Экономический бюллетень научно-исследовательского экономического института Министерства экономики Республики Беларусь*, № 7, С. 4–13.
- Сизов, А.А. [2024]. Концепция энергетического перехода: история понятия и эволюция явления. *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки*, № 2, С. 159–164.
- Симония, Н.А., Варнавский, В.Г., Жуков, С.В., Попов, В.В., Пусенкова, Н.Н. и Томберг, И.Р. [2008]. *Энергетическая безопасность глобализирующегося мира и Россия*. Москва: ИМЭМО РАН, Российская Федерация.
- Adamiec, E. i Jarosz-Krzemińska, E. [2022]. Korzyści środowiskowe i zdrowotne jako efekt realizacji polityki klimatycznej i rozwoju energetyki rozproszonej. *Energetyka Rozproszona*, № 8, S. 61–67.

- Ang, B.W., Choong, W.L. and Ng, T.S. (2015). Energy Security: definitions, Dimensions and Indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, № 42, pp. 1077–1093.
- Bartodziej, G. i Tomaszewski, M. (2009). *Polityka energetyczna i bezpieczeństwo energetyczne*. Racibórz, Polska.
- Dziurny, A. (2023). *Realizm prognoz rozwoju świata przedstawionych w raportach Klubu Rzymskiego. Implikacje do nauk o bezpieczeństwie*. Warszawa: UKSW, Polska.
- Fouquet, R. and Pearson, P. (2012). Past and prospective energy transitions: Insights from history. *Energy Policy*, № 50, pp. 1–7.
- Gacek, Ł. (2020). *Cywilizacja ekologiczna i transformacja energetyczna w Chinach*. Poznań: Wydawnictwo naukowe FNCE, Polska.
- Gębska, M. (2022). *Ekonomiczny wymiar bezpieczeństwa państw inicjatywy Trójmorza. Teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwo Akademii Sztuki, Polska.
- Graczyk, A. (2023). Oddziaływanie transformacji energetycznej na gospodarowanie przestrzenią w Polsce w perspektywie roku 2050, v D. Rynio, A. Zakrzewska-Półtorak (red.), *Przestrzeń i regiony w nowoczesnej gospodarce. Księga jubileuszowa dedykowana Profesorowi Stanisławowi Korenikowi*. Wrocław, S. 259–267.
- Grubler, A. (2005). Energy transition. *The Dictionary of Energy*, 2-nd Edition, P. 146.
- Kamrat, W. (2023). *Gospodarka energetyczna w warunkach rynkowych. Modelowanie – ekonomika – zarządzanie*, Warszawa: PWN, Polska.
- Kardaś, Sz. (2024). *Od węgla do konsensusu; wyzwania i perspektywy transformacji energetycznej Polski*, [Online] Fundacja im. St.Batorego, URL: <https://www.batory.org.pl/publikacja/od-węgla-do-konsensusu-wyzwania-i-perspektywy-transformacji-energetycznej-polski/> [Accessed: 29.12.2024].
- Kiełkowska, U. i Machalski, P. (2024). *Transformacja energetyczna w ujęciu interdyscyplinarnym*. Toruń: Wydawnictwo Adam Marszałek, Polska.
- Klare, M.T. (2008). Energy Security, v P.D.Williams (red.), *Security Studies an introduction*. Londyn, pp. 483–496.
- Kłodziński, R. i Stachowiak, B. (2024). Podwaliny bezpieczeństwa energetycznego kraju w obszarze gazu. *Studia Społeczne*, № 2, S. 101–116.
- Koczan, M. i Alkan, A. (2022). Bezpieczeństwo energetyczne a transformacja sektora elektroenergetycznego w Polsce (na przykładzie wybranych podsektorów). *Wschodnioznawstwo*, T. 16, S. 425–436.
- Kwiatkowski P. i Szczerbowski R. (red.) (2015). *Bezpieczeństwo energetyczne. Rynki surowców i energii. Energetyka w czasach politycznej niestabilności*, Poznań: Fundacja na rzecz Czystej Energii, Polska.
- Machalski, P. (2024). Rola samorządu terytorialnego w transformacji energetycznej RP, v U.Kiełkowska i P.Machalski (red.), *Transformacja energetyczna RP w ujęciu interdyscyplinarnym*, Toruń: Wydawnictwo Adam Marszałek, S. 190–191.
- Mankind, (2000). [Online], URL: <https://www.m2000.org/> [Accessed: 29.12.2024].
- Maślak, Z. (2017). Bezpieczeństwo ekologiczne, v J. Pawłowski (red.), *Podstawy bezpieczeństwa narodowego (państwa)*. Warszawa, S. 467–504.
- Misiągiewicz, J. (2019). *Bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej. implikacje nowych projektów infrastruktury gazociągowej w Europie*. Lublin: Wydawnictwo Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej, Polska.
- Młynarski, T. (2011). *Bezpieczeństwo energetyczne w pierwszej dekadzie XXI wieku. Mozaika interesów i geostrategii*. Kraków: Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Polska.
- Nowak, A.Z., Kurtyka, M. i Tchorek, G. (red.) (2021). *Transformacja energetyczna i klimatyczna – wybrane dylematy i rekomendacje*. Warszawa: Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Polska.
- Potrzeszcz, J. (2014). Bezpieczeństwo i porządek publiczny w ujęciu filozofii prawa, v W. Lis (red.), *Bezpieczeństwo państwa. Zagadnienia podstawowe*, Lublin: Wydawnictwo KUL, S. 15–34.
- Pronińska, K.M. (2012). *Bezpieczeństwo energetyczne w stosunkach UE – Rosja. Geopolityka i ekonomia surowców energetycznych*. Warszawa: Dom Wydawniczy ELIPSA, Polska.
- Sokołowski, J. i Frankowski, J. (2023). *Czy Polska będzie drugą Francją? Jak uniknąć konfliktów społecznych związanych z polityką klimatyczną*, [Online], Instytut Badań Strukturalnych. URL: https://ibs.org.pl/wp-content/uploads/2023/04/Czy-Polska-bedzie-druga-Francja_PP_01_2023.pdf [Accessed: 03.01.2025].

Stachowiak, Z. i Stachowiak, B. [2014]. Kontrowersje i dylematy rozwiązania problemu bezpieczeństwa ekonomicznego w Polsce. *Zeszyty Naukowe AON*, № 3[96], S. 189–250.

Stachowiak, Z. [2013]. *Teoria i praktyka bezpieczeństwa ekonomicznego. Ujęcie instytucjonalne*. Warszawa: AON, Polska.

Toffler, A. i Toffler, H. [1996]. *Budowa nowej cywilizacji. Polityka trzeciej fali*. Poznań, Polska.

Walesiak, A. [2013]. *Ekoteologiczny wymiar raportów Klubu Rzymskiego*. Kraków: Wydawnictwo Scriptum, Polska.

Yergin, D. [2006]. Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*, vol. 85, № 2, pp. 69–82.

Zaporowski, B. i Orłowska, J. [2021]. Transformacja energetyczna jest niezbędna i możliwa. *Academia. Magazyn Polskiej Akademii Nauk*, № 1 [65], S. 50–55.

REFERENCES

Balashenko, S.A., Devito, V., Zhloba, A.A., Moroz, O.V. and Noonan, K. [2015]. Energy policy in the Republic of Belarus and Massachusetts (USA): comparative legal analysis [Energeticheskaia politika v Respublike Belarus i Shtate Masachusetts : sravnitel'no-pravovoi analiz]. *Vesnik BDU = Bulletin of the BSU*, ser. 3, no. 1, pp. 65–69 [In Russian].

Bushuev, V.V. [1998]. *Energetichnaia bezopasnost Rossii* [Energy security of Russia]. Novosibirsk: Nauka, Russian Federation [In Russian].

Zhavoronkova, N.G. and Shpakovsky, Yu.G. [2012]. Energy security in the national security system of modern Russia [Energeticheskaia bezopasnost v sisteme nazionalnoi bezopasnosti sovremennoi Rossii]. *Pravo i bezopasnost = Law and security*, no. 1, pp. 70–75 [In Russian].

Zorina, T.G. [2016]. *Formirovanie strategii ustoichivogo energeticheskogo razvitiia* [Formation of a sustainable energy development strategy]. Minsk: Misanta, Republic of Belarus [In Russian].

Zorina, T.G. [2021]. Transformation of the energy complex of the Republic of Belarus: from energy security to the concept of sustainable development [Transformazia energeticheskogo kompleksa Respubliki Belarus: ot energeticheskoi bezopacnosti k koncepczii ustoichivogo razvitiia]. *Belorusskii ekonomicheskii zhurnal = Belarusian Economic Journal*, no. 4, pp. 27–40 [In Russian].

Zorina, T.G. and Shershunovich, E.S. [2019]. Energy security of the Republic of Belarus: assessment methods [Energeticheskaia bezopacnost Respubliki Belarus: metody ozenki]. *Ekonomicheskii byulleten nauchno-issledovatel'skogo ekonomicheskogo instituta Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus = Economic Bulletin of the Research Economic Institute of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus*, no. 7, pp. 4–13 [In Russian].

Sizov, A.A. [2024]. The concept of energy transition: history of the concept and evolution of the phenomenon [Koncepcia energeticheskogo perehoda: istoria poniatia i evoluzia iavlenia]. *Gosudarstvennoe i munitsipalnoe upravlenie. Uchenie zapiski = State and municipal administration. Scientific notes*, no. 2, pp. 159–164 [In Russian].

Simonia, N.A., Varnavsky, V.G., Popov, V.V., Zhukov, S.V. and Tomberg, I.R. [2008]. *Energeticheskaia bezopasnost globaliziruushchegosia mira i Rossia* [Energy security of the globalizing world and Russia]. Moscow, IWEIR RAS, Russian Federation [In Russian].

Adamiec, E. and Jarosz-Krzemińska, E. [2022]. Environmental and health benefits as a result of the implementation of climate policy and the development of distributed energy. *Energetyka Rozproszona = Distributed Energy*, 2022, no. 8, pp. 61–67 [In Polish].

Ang, B.W., Choong, W.L. and Ng, T.S. [2015]. Energy security: definitions, dimensions and indexes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, no. 42, pp. 1072–1093.

Bartodziej, G. and Tomaszewski, M. [2009]. *Energy policy and energy security*. Racibórz [In Polish].

Dziurny, A. [2023]. *Realism of world development forecasts presented in the Club of Rome reports. Implications for security sciences*. Warszawa: UKSW [In Polish].

Fouquet, R. and Pearson, P. [2012]. Past and prospective energy transitions: Insights from history. *Energy Policy*, no. 50, pp. 1–7.

- Gacek, Ł. (2020). *Ecological civilization and energy transformation in China*. Poznań: FNCE Scientific Publishing (In Polish).
- Gębska, M. (2022). *Economic dimension of security of the Three Seas Initiative countries. Theory and practice*. Warsaw: ASzW (In Polish).
- Graczyk, A. (2023). The impact of energy transformation on space management in Poland in the perspective of 2050. In: D. Rynio and A. Zakrzewska-Półtorak (eds.) *Space and regions in the modern economy. Anniversary book dedicated to Professor Stanisław Korenik*, Wrocław: Wrocław University of Economics Publishing House, pp. 259–260 (In Polish).
- Grubler, A. (2005). Energy transition. *The Dictionary of Energy*, 2-nd Edition, P. 146.
- Kamrat, W. (2023). *Energy economy in market conditions. Modelling, economics, management*. Warsaw: PWN (In Polish).
- Kardaś, Sz. (2024). *From coal to consensus; challenges and prospects of Poland's energy transformation*, [Online], Foundation. St. Batorego, Available at: <https://www.batory.org.pl/publikacja/od-wegla-do-konsensusu-wyzwonia-i-perspektywy-transformacji-energetycznej-polski/> [Accessed: 29.12.2024] (In Polish).
- Kielkowska, U. and Machalski, P. (2024). *Energy transformation from an interdisciplinary perspective*. Toruń: Adam Marszałek Publishing House (In Polish).
- Klare, M.T. (2008). Energy Security. In: P.D. Williams (ed.) *Security Studies an introduction*. Londyn, pp. 483–496.
- Kłodziński, R. and Stachowiak, B. (2024). Foundations of the country's energy security in the area of gas. *Studia Społeczne = Social Studies MANS*, no. 2, pp. 101–116 (In Polish).
- Koczan, M. and Alkan, A. (2022). Energy security and the transformation of the electricity sector in Poland (on the example of selected subsectors). *Wschodnioznawstwo = Eastern studies*, vol. 16, pp. 425–436 (In Polish).
- Kwiatkowski, P. and Szczerbowski, R. (eds.) (2015). *Energy security. Raw materials and energy markets. Energy in times of political instability*. Poznań: Clean Energy Foundation (In Polish).
- Machalski, P. (2024). The role of local government in the energy transformation of the Republic of Poland. In: U. Kielkowska and P. Machalski (eds.) *Energy transformation of the Republic of Poland from an interdisciplinary perspective*. Toruń: Wydawnictwo Marszałek, pp. 190–191 (In Polish).
- Mankind, (2000). [Online], Available at: <https://www.m2000.org/> [Accessed: 29.12.2024].
- Maślak, Z. (2017). Ecological safety. In: J. Pawłowski (ed.) *Basics of national (state) security*, Warsaw, pp. 469–470 (In Polish).
- Misiągiewicz, J. (2019). *Energy security of the European Union. implications of new gas pipeline infrastructure projects in Europe*. Lublin: Maria Curie-Skłodowska University Publishing House (In Polish).
- Młynarski, T. (2011). *Energy security in the first decade of the 21st century. A mosaic of interests and geostrategy*. Kraków (In Polish).
- Nowak, A.Z., Kurtyka, M. and Tchorek, G. (eds.) (2021). *Energy and climate transformation – selected dilemmas and recommendations*. Warsaw: University of Warsaw Publishing House (In Polish).
- Potrzeszcz, J. (2014). Public security and order in terms of the philosophy of law. In: W. Lis (ed.), *State security. Basic issues*. Lublin: Wydawnictwo KUL, pp. 15–34 (In Polish).
- Pronińska, K.M. (2012). *Energy security in EU-Russia relations. Geopolitics and economics of energy resources*. Warsaw: ELIPSA Publishing House (In Polish).
- Sokołowski, J. and Frankowski, J. (2023). *Will Poland be the second France? How to avoid social conflicts related to climate policy*, [Online], IBS – Institute of Structural Research. Available at: https://ibs.org.pl/wp-content/uploads/2023/04/Czy-Polska-bedzie-druga-Francja_PP_01_2023.pdf [Accessed: 03.01.2025] (In Polish).
- Stachowiak, Z. and Stachowiak, B. (2014). Controversies and dilemmas of solving the problem of economic security in Poland. *Zeszyty Naukowe AON = AON Scientific Papers*, no. 3 [96], pp. 189–250 (In Polish).
- Stachowiak, Z. (2013). *Theory and practice of economic security. Institutional approach*. Warsaw: AON (In Polish).
- Toffler, A. and Toffler, H. (1996). *Building a new civilization. The politics of the third wave*. Poznań (In Polish).
- Walesiak, A. (2013). *Ecotheological dimension of the Club of Rome reports*. Kraków: Scriptum Publishing House (In Polish).

Yergin, D. (2006). Ensuring Energy Security. *Foreign Affairs*, vol. 85, no. 2, pp. 69–82.

Zaporowski, B. and Orłowska, J. (2021). Energy transformation is necessary and possible. *Academia. Magazyn Polskiej Akademii Nauk = Academy. Magazine of the Polish Academy of Sciences*, 2021 no. 1 (65), pp. 50–55 (In Polish).

Информация об авторах

Information about the authors

Зеленкевич Марина Леонидовна

Доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой финансов и менеджмента, ГУО «Институт бизнеса БГУ», Республика Беларусь.

E-mail: marina.zelenkevich@gmail.com

Стаховяк Бартош

Кандидат экономических наук, доцент, заместитель директора Института мировой экономики, Университет кардинала Стефана Вышинского в Варшаве, Республика Польша.

E-mail: b.stachowiak@uksw.edu.pl

Marina L. Zelenkevich

Doctor of Science (in Economics), Associate Professor, Chair of the Department of Finance and Management, School of Business BSU, Republic of Belarus.

E-mail: marina.zelenkevich@gmail.com

Bartosz Stachowiak

Candidate of Sciences (in Economics), Associate Professor, Deputy Director, Institute of World Economy, Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw, Republic of Poland.

E-mail: b.stachowiak@uksw.edu.pl

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.

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 постановке 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 подписочную 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 подписочные 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.

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 нумеруются и располагаются 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> = на английском языке курсивом, 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.emeraldgrouppublishing.com/how-to/authoring-editing-reviewing/use-harvard-reference-system>.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 1 (51)

Дизайн обложки Абрамович Н. А.

Вёрстка издания Погорельская С. И.

Редактор издания Прокопюк А. С.

Подписано в печать 03.06.2025. Печать цифровая. Гарнитура Akrobat, Inter Tight.
Усл. печ. листов 21,9. Уч.-изд. листов 20,0. Формат 60х90 1/8. Тираж 100 экз. Заказ № 365.

Свёрстано и подготовлено к печати издательским
сектором Витебского государственного
технологического университета
210038, Республика Беларусь, г. Витебск,
Московский пр-т, 72.
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных
изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Полиграфическое исполнение – Республиканское
унитарное предприятие «Информационно-
вычислительный центр Министерства финансов
Республики Беларусь»
220004, Республика Беларусь, г. Минск,
ул. Кальварийская, 17.
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 года.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 1235 от 8 февраля 2010 г.