

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 (50)

ВИТЕБСК 2024

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

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

BULLETIN

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 4 (50)

VITEBSK 2024

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 (ИТА НАН Беларуси)
- 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 (ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению», 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 (Даугавпилский 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.

Editorial Board:

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

Thematic Editors

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

- Editor Alexander N. Burkin, Dr. Sc. (Eng), Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Vasili V. Rubanik, Dr. Sc. (Eng), Professor (Institute of Technical Acoustics of Belarus NAS)
- 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 (State Scientific and Production Association "Scientific and Practical Materials Research Centre of the National Academy of Sciences 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

Технология материалов и изделий текстильной и легкой промышленности

Милеева Е. С., Казарновская Г. В.

Исследование влияния параметров строения котонинсодержащих костюмных тканей на их физико-механические свойства 9

Липик В. Т.

Использование минеральных добавок в функциональном текстиле 26

Буркин А. Н., Нейфельд М. А.

Оценка износостойкости монолитных подошв обуви из термоэластопластов 37

Марущак Ю. И., Ясинская Н. Н.

Влияние внешних факторов на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием 49

Бёрнер Д., Ариси Б., Рорбах К., Малтиг Б.

Сравнительный анализ носков, изготовленных по инновационной технологии из специальных синтетических волокон 59

Карнилов М. С., Рыклин Д. Б.

Определение рациональных режимов процесса нанесения нановолокнистого покрытия на водорастворимую пленку методом электроформования 69

Химическая технология

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

Получение и исследование свойств поли[акрилонитрил-со-2-акриламид-2-метилпропансульфонокислоты] как полимерной основы волокнистых ионообменных материалов 81

Мухаммад Наид-Улл-Ислам, Шах Мухаммад Маруф Хасан, Махмуда Актер,

Мухаммад Камрул Хассан Шоудхури, Мухаммад Шахидул Ислам Сакиб,

Саббир Ахамед, Мухаммад Абу Саид

Исследование экологичности технологии нанопузырьков e-flow при отделке джинсовой ткани с анализом качества продукции 93

Экономика

Касаева Т. В., Шеремет О. О.

Факторы модели DuPont в анализе рентабельности деятельности текстильных предприятий 103

Комарова В., Чижо Э., Бороненко Т. Мониторинг и планирование местного территориального развития как моделируемый бизнес-процесс: на примере самоуправлений Латвии	117
Ванкевич Е. В., Калиновская И. Н. Использование больших данных о рынке труда в кадровых бизнес-процессах организаций Республики Беларусь	139
<hr/>	
ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»	156
ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	159

CONTENTS

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

Katsiarina S. Mileeva, Galina V. Kazarnovskaya Investigation of the effect the parameters of the structure of cottonized costume fabrics produce on their physical and mechanical properties.....	9
Vitali T. Lipik Application of mineral additives in functional textiles.....	26
Alexander N. Burkin, Maria A. Neufeld Assessment of wear resistance of monolithic shoe soles made of thermoplastics.....	37
Yulia I. Maruschak, Natallia N. Yasinskaya Influence of external factors on the quality indicators of fabrics with porous polyurethane coating.....	49
Giulia Börner, Berat Arici, Carolin Rohrbach, Boris Mahtig Comparative analysis of innovative socks made from special synthetic fibers	59
Mikhail S. Karnilov, Dzmitry B. Ryklin Determination of rational modes for applying nanofibrous covering to a water-soluble film by electrospinning	69

Chemical Engineering

Vera M. Chykunskaya, Leonid A. Shcherbina, Iryna A. Budkute, Valery A. Ogorodnikov Preparation and study of the properties of poly[acrylonitrile-co-2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid] as a polymer base for fibrous ion-exchange materials	81
Md. Nahid-Ull-Islam, Shah Md. Maruf Hasan, Mahmuda Akter, Md. Kamrul Hassan Chowdhury, Md. Shahidul Islam Sakib, Sabbir Ahamed, Md. Abu Sayeed Exploring the sustainability of e-flow nanobubble technique in denim finishing with an analysis of product quality	93

Economics

Tamara V. Kasayeva, Olga O. Sheremet Factors of the DuPont model in the analysis of profitability of textile enterprises	103
Vera Komarova, Edmunds Cizo, Timurs Boronenko Monitoring and planning of local territorial development as a modelable business process: the case of Latvian municipalities	117

Alena V. Vankevich, Iryna N. Kalinouskaya

The use of big data on the labor market in HR business processes of organizations
in the Republic of Belarus 139

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL
"BULLETIN OF STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY"156

PREPARATION OF LINKS TO SOURCES AND A LIST OF REFERENCES.....159

Исследование влияния параметров строения котонинсодержащих костюмных тканей на их физико-механические свойства

Е. С. Милеева,
Г. В. Казарновская

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. В современных условиях качество тканей в сочетании с художественно-эстетическими свойствами определяют их конкурентоспособность. Вопрос влияния плотности по утку и вида переплетения на показатели физико-механических свойств, а соответственно, и качество костюмных тканей из котонинсодержащей пряжи изучен недостаточно. С целью установления влияния плотности по утку и вида переплетения на физико-механические свойства котонинсодержащих костюмных тканей произведена наработка тканей, в основе и утке которой использована котонинсодержащая пряжа линейной плотности 50 текс, плотность по утку варьировалась от 160 до 220 нит./10 см с интервалом в 20 нит./10 см, плотность по основе составила 203 нит./10 см. В качестве переплетений использованы: полотняное, уточная саржа 1/2, равноусиленные саржи 2/2, 3/3, сатин 5/2. Эти переплетения наиболее часто применяются в ремизных и жаккардовых костюмных тканях. Испытание свойств тканей проводилось по существующим методикам. На основании данных, полученных в результате эксперимента, установлены математические зависимости физико-механических свойств от плотности по утку и вида переплетения, выраженного через коэффициент переплетения.

Применение методов регрессионного анализа позволило установить линейные зависимости свойств костюмных тканей от плотности по утку и от переплетения, однако оценка качества моделей через коэффициент детерминации показала, что не для всех физико-механических свойств доля дисперсии выходного параметра составляет 95 % в общей дисперсии признака. Использование линейной математической зависимости от плотности по утку с высоким коэффициентом детерминации характерно для таких свойств как воздухопроницаемость, стойкость к истиранию, поверхностная плотность и изменение размеров по основе после мокрой обработки.

Ключевые слова: костюмная ткань, физико-механические свойства, переплетение, плотность по утку, коэффициент переплетения, линейная модель, коэффициент детерминации.

Информация о статье: поступила 25 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).

Investigation of the influence of the parameters of the structure of cottonin-containing costume fabrics on their physical and mechanical properties

Katsiarina S. Mileeva
Galina V. Kazarnovskaya

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. In the current marketplace, it is the quality of fabrics in combination with artistic and aesthetic properties that determines their competitiveness. There are no sufficient studies of the effect weft density and type of weave produce on the quality of costume fabrics made of cottonized yarn.

In order to determine the influence of the weft density and the type of weave on the physical and mechanical properties of fabrics, the fabrics were produced, in the warp and weft of which cottonized yarn of linear density 50 tex was used, the weft density varied from 160 to 220 threads/10 cm with an interval of 20 threads/10 cm, the density on the warp was 203 threads/10 cm. The weaves used are the following: plain weave, filling twill 1/2, equally reinforced twill 2/2, 3/3, satin

5/2. These weaves are most often used in heald fabrics and jacquard costume fabrics. The fabrics properties were tested according to existing methods. Based on the data obtained as a result of the experiment, the mathematical dependences of the properties on the density of the weft are determined, the diagrams show the influence of the type of weave on the properties of fabrics, since this characteristic is discrete.

The use of regression analysis methods made it possible to determine linear dependences of the properties of costume fabrics on the density of the weft and on the weave. However, an assessment of the quality of models through the coefficient of determination showed that not for all physical-and-mechanical properties the proportion of the variance of the output parameter is 95 % of the total variance of the feature. The use of a linear mathematical dependence on the density of the weft with a high coefficient of determination is typical for properties such as breathability, abrasion resistance, surface density and dimensional variation on the substrate after wet treatment.

Keywords: costume fabric, physical and mechanical properties, weave, weft density, weave coefficient, linear model, coefficient of determination.

Article info: received September 25, 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

Ткани и другие текстильные товары характеризуются совокупностью свойств, благодаря которым они удовлетворяют определенную потребность. Назначение той или иной ткани во многом формирует выбор свойств для оценки ее качественных показателей. Уровень качества костюмных тканей, как и тканей любого другого назначения, напрямую зависит от сырьевого состава и вида используемой пряжи [Ложкин, Рыжкова, 2024; Абдугафаров и др., 2022; Веселова, Архалова, 2020].

На РУПТП «Оршанский льнокомбинат» созданы необходимые условия для переработки коротковолокнистого льна по технологическому процессу переработки хлопка: освоена технология получения пряжи из котонизированного льняного волокна [Дягилев, Коган, Мурычев, 2013; Дягилев, Бизюк, Коган, 2015].

Отечественное короткое волокно характеризуется высокой засоренностью, заостренностью [Ефременко, Небова, Усачева, 2006; Корабельников, Вихарев, Корабельников, 2008], неравномерностью по линейной плотности и геометрическим свойствам [Куликов, 2012], расщепленностью, жесткостью, степенью зрелости [Карев и др., 2010], различным цветом: от серо-зеленого до коричневатого-рыжего. Эта разнородность свойств исходного сырья сказывается на показателе неровности пряжи пневмомеханического способа прядения [Милеева, Казарновская 2020], а соответственно, и на качестве тканей, получаемых из нее.

В условиях рыночной экономики на выбор потребителя влияет не только художественно-колористическое оформление ткани, но и ее качество. Поэтому изучению свойств котонинсодержащей пряжи и тканей из нее уделяется большое внимание [Разумеев, и др., 2019; Борзова, Банакова, Корнилович, 2021; Сулайман и др., 2022]. Вопрос влияния плотности по утку и вида переплетения на физико-механические свойства котонинсодержащих тканей костюмного назначения остается недостаточно изученным. Кроме того, исследование влияния параметров строения ткани на ее физико-механические свойства позволит оптимизировать технологический процесс получения тканей различного назначения [Голубев, Романов, 2019] и прогнозировать свойства тканей на стадии проектирования [Ландовская, Ландовский, 2013; Максач, Чижик, Юрков, 2024].

Целью работы является определение влияния параметров строения тканей, таких как плотность по утку и вид переплетения, на свойства котонинсодержащих тканей костюмного назначения.

Объектом исследования служат костюмные ткани однослойного строения, имеющие разные значения плотности ткани по утку.

Предметом исследования являются физико-механические свойства тканей костюмного ассортимента.

В ходе исследования поставлены и решены следующие задачи:

– обоснован выбор ткацких переплетений и диапазон плотностей по утку от 160 до 220 нит./10 см с интервалом в 20 нит./10 см при одинаковой плотности по основе, равной 203 нит./10 см для наработки опытных партий котонинсодержащих костюмных тканей;

– наработаны опытные партии тканей костюмного назначения, в соответствии с действующими методиками определены их физико-механические свойства;

– установлено влияние вида переплетения и плотности по утку на физико-механические свойства ткани; проведен регрессионный анализ полученных данных с целью выявления математических зависимости свойств тканей от параметров их строения.

Методы и средства исследований

Проведение испытаний физико-механических свойств осуществлялось в соответствии со стандартными методиками, при этом рассчитывались средние показатели: разрывная нагрузка, разрывное удлинение (ГОСТ 29104.4–91), стойкость к истиранию (ГОСТ 9913–90), воздухопроницаемость (ГОСТ 12088–77), поверхностная плотность (ГОСТ 3811–72), усадка после мокрой обработки (ГОСТ 8710–84).

Разрывная нагрузка и разрывное удлинение определялись отдельно по направлению нитей основы и по направлению нитей утка для элементарных проб размерами (50 x 500) мм на разрывной машине, обеспечивающей постоянную скорость опускания нижнего зажима, проба заправлялась под действием груза предварительного натяжения 4,9 Н (50 кгс).

Испытания стойкости к истиранию проводились при удельном давлении абразива на ткань, равном 1 МПа (1 кгс/см²), при частоте вращения головки прибора – 200 мин⁻¹.

Воздухопроницаемость исследовалась на приборе марки ВПТМ.2 с использованием столика с площадью отверстия 2 см² при силе прижима точечной пробы 147 Н (15 кгс).

Поверхностная плотность ткани вычислялась по формуле (1):

$$M_{г.м.}^2 = \frac{m_{ас}}{L_{ас} \cdot b_{ас}} \cdot 10^3, \text{ г/мг}^2 \quad (1)$$

где $m_{ас}$ – масса куса ткани после релаксации при климатических условиях по ГОСТ 10681, кг; $L_{ас}$ – длина куса ткани после релаксации при климатических условиях по ГОСТ 10681, м; $b_{ас}$ – ширина куса ткани после релаксации при климатических условиях по ГОСТ 10681, м.

Для определения линейных размеров точечной пробы ткани применялась нескладная измерительная линейка с ценой деления 1 мм и мерильный стол; взвешивание кусков тканей осуществлялось на электронных весах Adventurer RB-214 чувствительностью до 0,0001 г, максимальным весом до 210 гр.

В качестве мокрой обработки применена стирка с добавлением моющего средства из расчета 3 г/м³ в автоматической бытовой машине типа СМА-4 с горизонтально установленным барабаном при температуре 60±3 °С в течение 30 мин; полоскание и отжим по программе стиральной машины. Глажение осуществлялось накладыванием утюга.

Изменение размеров после мокрой обработки (стирки) в направлении основы (длины ткани) λ_o и утка (ширины ткани) λ_y , %, вычисляются по формулам (2) и (3):

$$\lambda_o = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100, \quad (2)$$

$$\lambda_y = \frac{L_2 - L_y}{L_y} \cdot 100, \quad (3)$$

где L_1, L_2 – расстояние между метками до обработки, мм; L_o, L_y – расстояние между метками по основе и утку после обработки, мм.

Испытания проводились на поверенном оборудовании с использованием поверенных инструментов. Применены такие методы исследований как наблюдение, эксперимент, измерение, сравнение статистические методы анализа.

В качестве гипотезы выдвинуто предположение, что плотность по утку и вид переплетения влияют на показатели физико-механических свойств тканей, причем линейное изменение плотности по утку и вида переплетения, выраженного через коэффициент переплетения, приводит к линейному изменению показателей физико-механических свойств. Проверка данной гипотезы осуществлялась методами регрессионного анализа и математического моделирования.

Результаты исследований

С целью установления влияния плотности по утку и вида переплетения на показатели физико-механических свойств тканей в условиях РУПТП «Оршанский льнокомбинат» произведена наработка тканей с использованием в основе и утке льнохлопковой пряжи линейной плотности 50 текс с содержанием 65 % хлопка и 35 % котонизированного льна. Диапазон плотностей по утку принят в интервале от 160 до 220 нит./10 см с

шагом в 20 нит./10 см, что связано с установленной на станке плотностью по основе, равной 203 нит./10 см, это при одинаковых линейных плотностях основы и утка, и одинаковом сырьевом составе создаст возможность получить ткани с равными свойствами в направлении основы и утка. Применение плотности по утку (при постоянной плотности по основе) ниже, либо выше данного диапазона приведет к получению, или разряженной рыхлой структуре ткани, либо ткани с высокой поверхностной плотностью, что не соответствует существующим требованиям к костюмному ассортименту. В качестве переплетений использованы: полотняное, уточная саржа 1/2, равноусиленные саржи 2/2, 3/3, сатин 5/2. Эти переплетения наиболее часто применяются в ремизных и жаккардовых костюмных тканях (Николаев, Михеева, Парфенов, 2008; Жолдасова, Даминов, Рахимходжаев, 2024; Полякова, 2007). Одной из основных характеристик любого переплетения является его раппорт и средний коэффициент переплетения, последний определяют по формуле (4):

$$F_{\text{ср}} = \frac{2R_o R_y}{(t_o + t_y)}, \quad (4)$$

где R_o, R_y – раппорт ткани по основе и утку, нит.; t_o, t_y – число взаимных пересечений нитей утка нитями основы и нитей основы нитями утка.

Во всех рассматриваемых переплетениях раппорт по основе равен раппорту по утку, а число взаимных пересечений нитей основы и утка в пределах раппорта равно двум, это приводит к тому, что коэффициент переплетения зависит только от размеров раппорта, его значение равно: для полотна – 2; саржи 2/2 – 4,5; равноусиленной саржи 2/2 – 8, сатина 5/2 – 12,5; саржи 3/3 – 18.

Чтобы исключить влияние других факторов, таких как тип ткацкого станка, вид зевобразовательного механизма и т. д., все ткани нарабатывались последовательно на одном станке фирмы Picanol с жаккардовой машиной Bonas.

Зависимости разрывной нагрузки и разрывного удлинения по основе и по утку от плотности по утку представлена на рисунке 1 (а, б).

Разрывные нагрузки по основе и утку исследуемых тканей увеличиваются с ростом плотности по утку, динамика роста разрывной нагрузки для обеих систем нитей различна. Безусловно, плотность по утку в большей степени влияет на разрывную нагрузку по утку, вместе с тем, следует отметить, что разрывная нагрузка тканей

по основе больше, чем по утку для всех видов переплетений.

В переплетениях с короткими перекрытиями разрывное удлинение при росте плотности по утку увеличивается, но с увеличением длины настила оно начинает снижаться, причем это справедливо и для основы, и для утка.

На рисунке 2 представлены зависимости разрывных характеристик от коэффициента переплетения при различных плотностях по утку.

Коэффициент переплетения для всех плотностей имеет влияние на разрывную нагрузку: для основы характерен рост разрывной нагрузки при увеличении раппорта переплетения, по утку – с его ростом разрывная нагрузка уменьшается.

С увеличением раппорта переплетения разрывное удлинение по основе снижается, а по утку при низкой плотности имеет тенденцию к увеличению, при росте же плотности – к снижению.

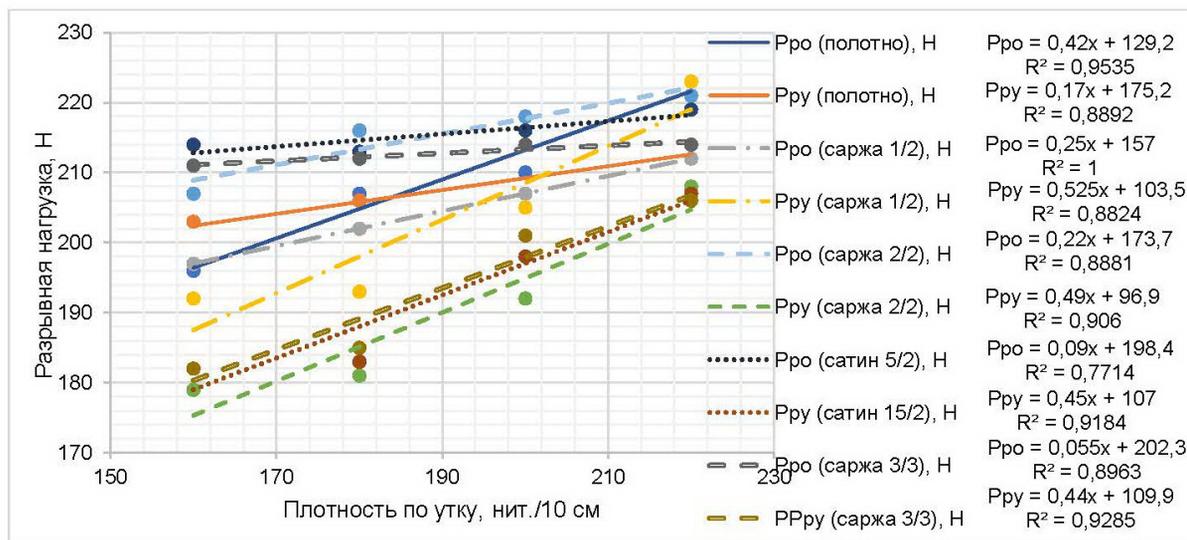
Таким образом, на разрывное удлинение влияет и плотность по утку, и вид переплетения; фактические значения разрывного удлинения являются высокими: от 12,5 % до 16,5 %, что, в свою очередь, негативно сказывается на эксплуатационных свойствах костюмных тканей.

Зависимость воздухопроницаемости от плотности по утку и от коэффициента переплетения для всех видов переплетений представлены на рисунке 3 (а, б).

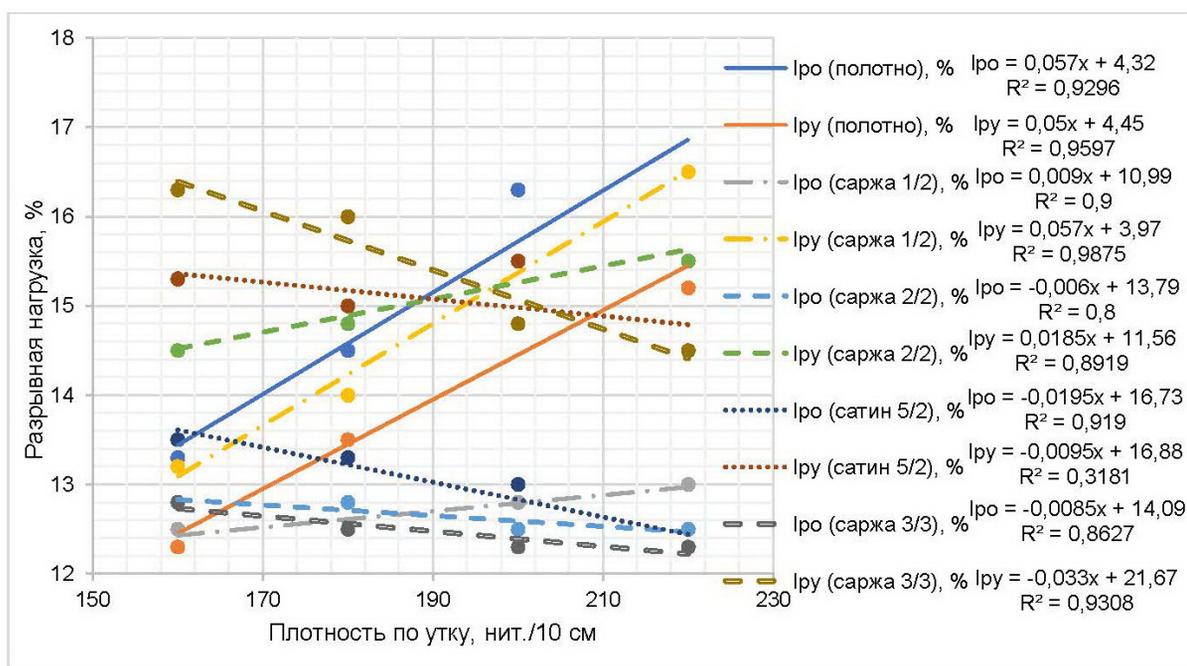
Анализ представленных зависимостей показал, что при увеличении плотности по утку увеличивается заполнение ткани волокнистым материалом, поэтому уменьшаются поры между нитями двух систем и снижается воздухопроницаемость для тканей всех видов переплетений, но с увеличением коэффициента переплетения при прочих равных условиях снижается степень связности нитей двух систем, поэтому происходит рост воздухопроницаемости.

Зависимости стойкости к истиранию от плотности по утку (а) и от коэффициента переплетения (б) представлены на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что с увеличением плотности по утку увеличивается стойкость к истиранию тканей всех переплетений, причем рост стойкости к истиранию тканей с поверхностью, образованной в равной степени нитями основы и утка больше, чем для тканей, лицевая сторона которых сформирована нитями утка. Определенной зависимости между коэффициентом переплетения и стойкостью к истиранию не выявлено, присутству-



а



б (b)

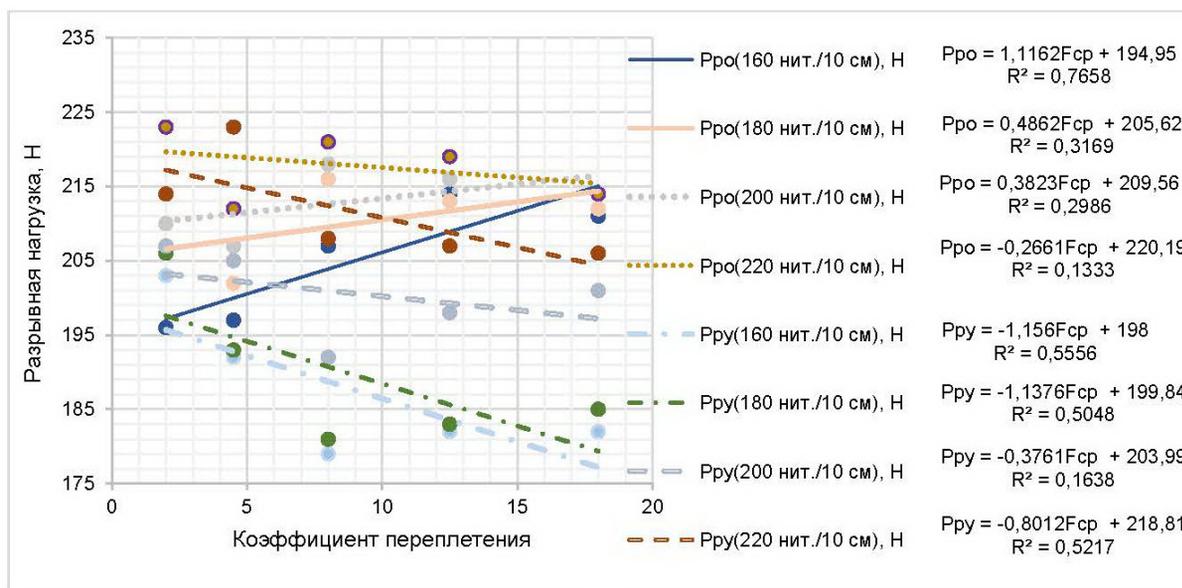
Рисунок 1 – Зависимость разрывных характеристик по основе и утку от плотности по утку:

а – разрывная нагрузка, б – разрывное удлинение

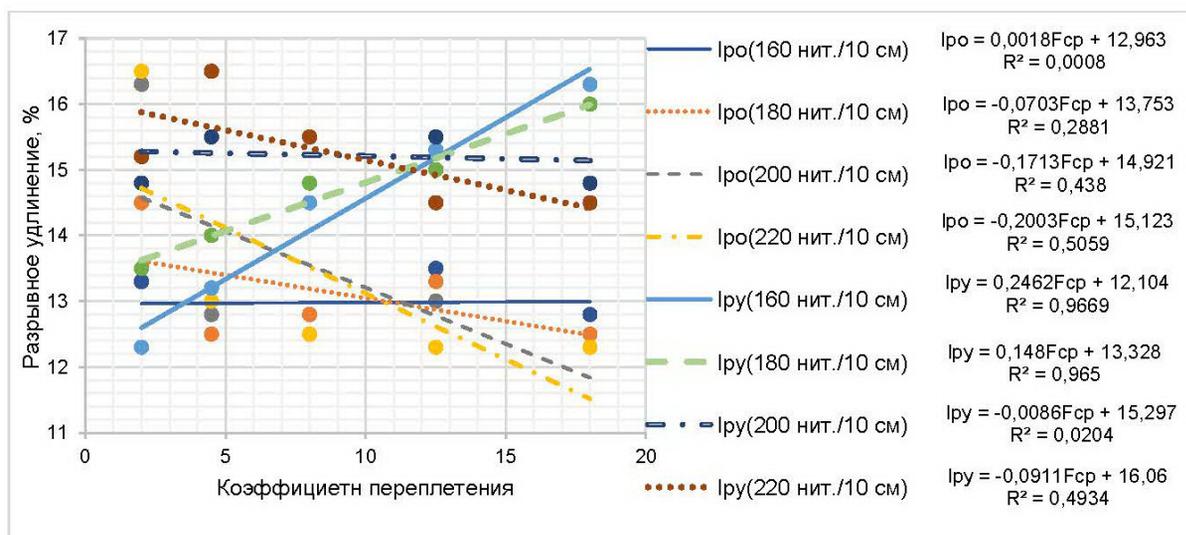
Figure 1 – Dependence of the breaking characteristics of the warp and weft on the density of the weft:

a – breaking load, b – breaking elongation

Примечание: P_{po} – разрывная нагрузка по основе, Н; P_{py} – разрывная нагрузка по утку, Н; l_{po} – разрывное удлинение по основе, %; l_{py} – разрывное удлинение по утку, %.



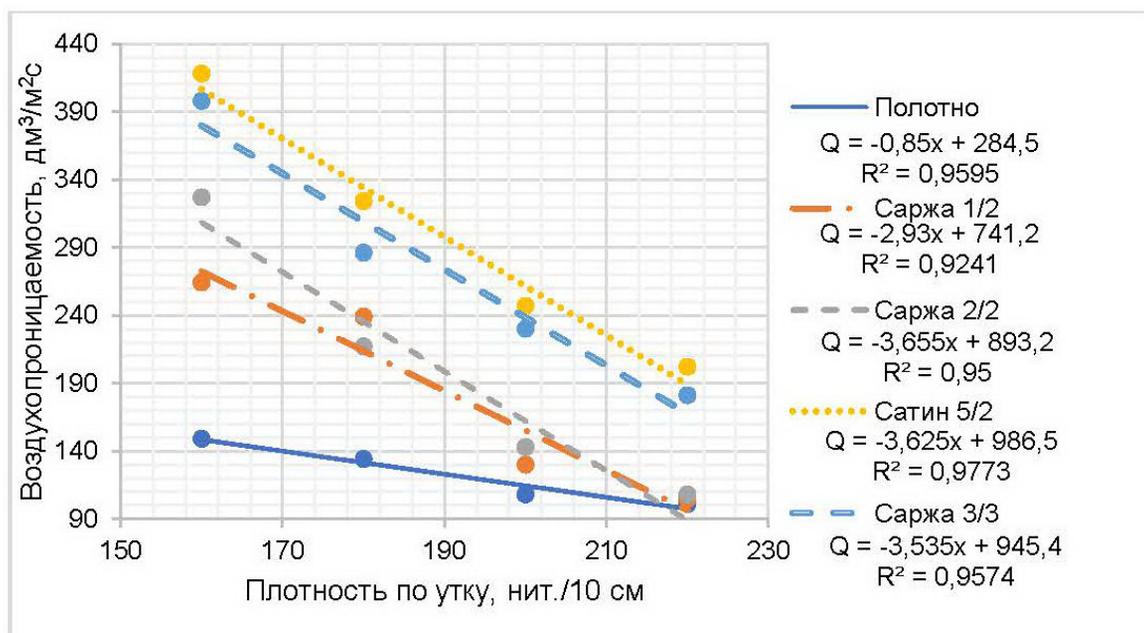
а



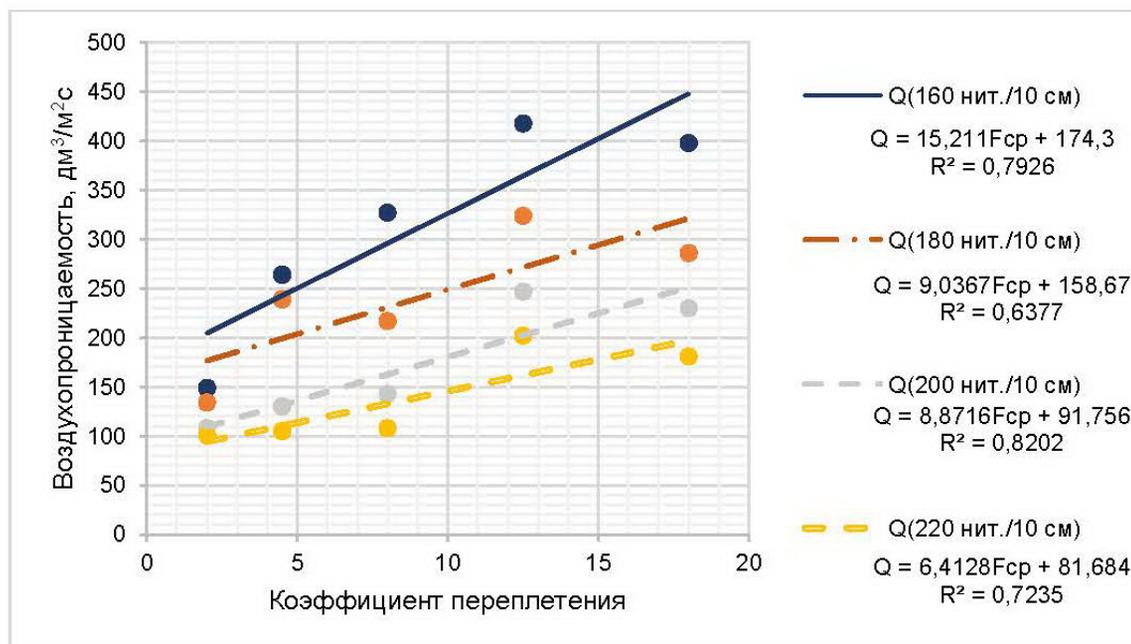
б (b)

Рисунок 2 – Зависимость разрывных характеристик по основе и утку от плотности по утку и от коэффициента переплетения:
а – разрывная нагрузка, б – разрывное удлинение

Figure 2 – Dependence of the breaking characteristics of the base and weft on the density of the weft and on the coefficient of interlacing:
а – breaking load, б – breaking elongation



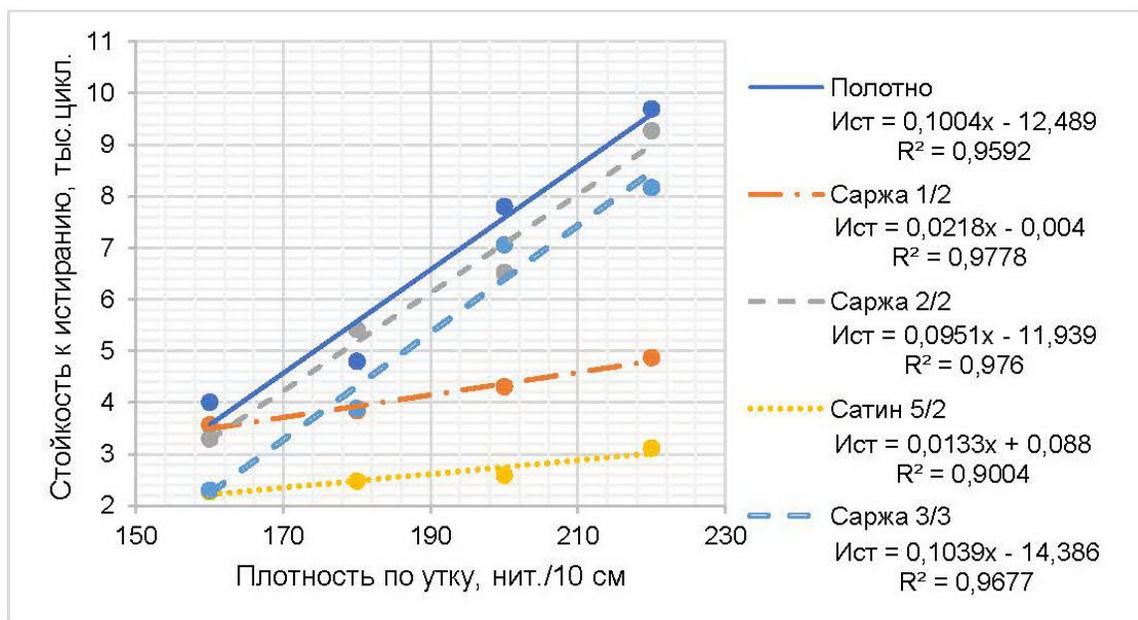
a



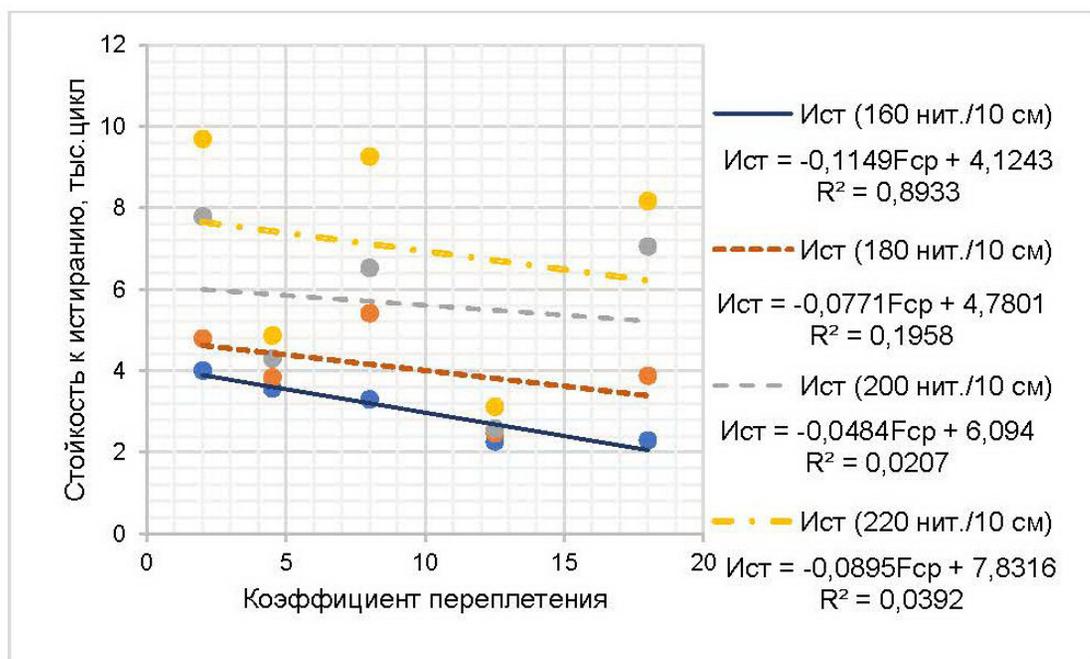
б (b)

Рисунок 3 – Зависимости воздухопроницаемости ткани:
а – от плотности по утку, б – от коэффициента переплетения

Figure 3 – Dependences of fabric breathability:
a – from the density of the weft, b – from the coefficient of interlacing



а

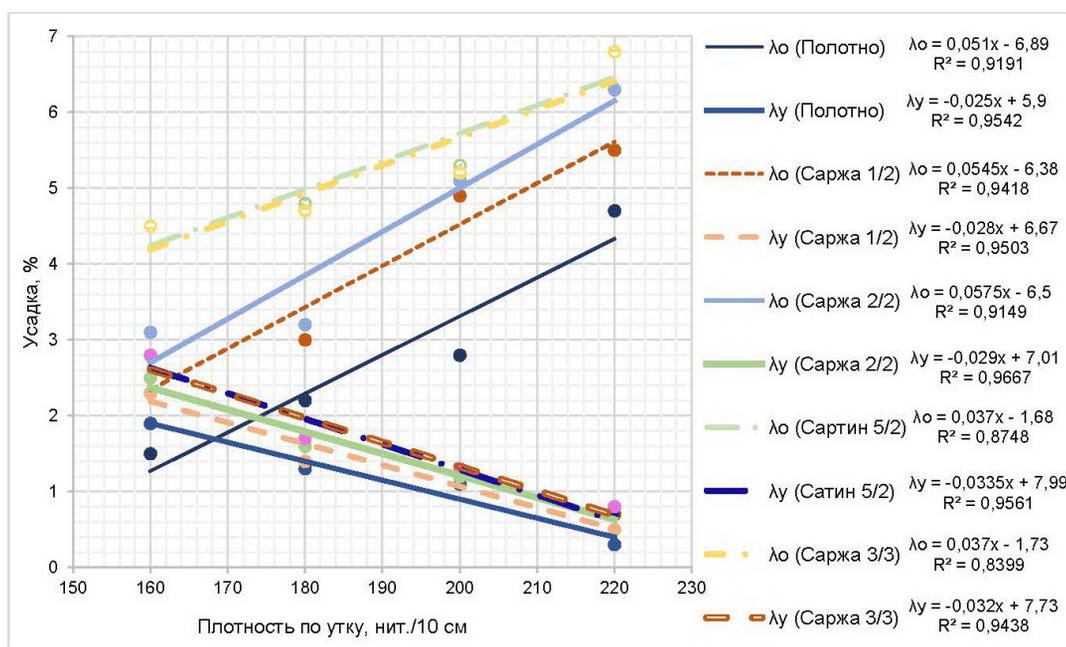


б (b)

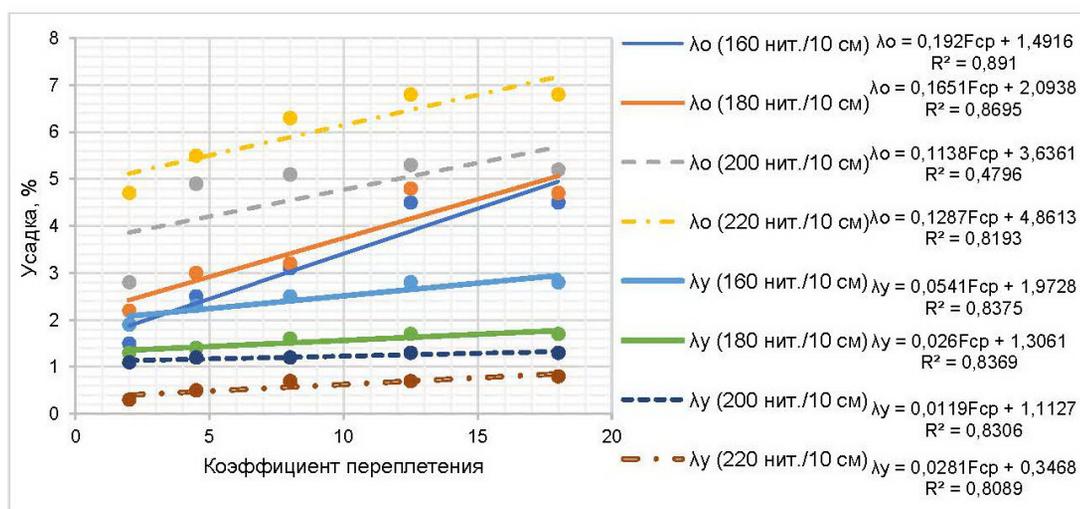
Рисунок 4 – Зависимости стойкости к истиранию:
а – от плотности по утку, б – от коэффициента переплетения
Figure 4 – Dependences of abrasion resistance:
а – from the density of the weft, б – from the coefficient of interlacing

ет некоторое снижение стойкости к истиранию с ростом коэффициента переплетения, однако данное снижение имеет скачкообразную тенденцию, которая с увеличением плотности по утку усиливается.

Влияние плотности по утку (а) и коэффициента переплетения (б) на изменение линейных размеров по основе и по утку после мокрой обработки представлены на рисунке 5.



а



б (b)

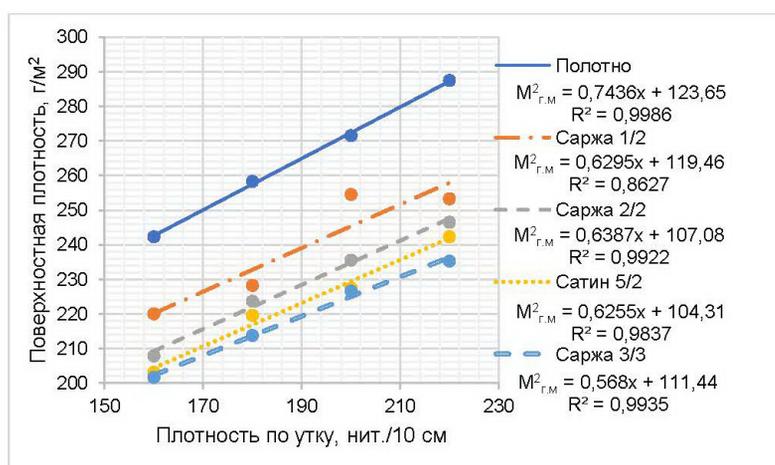
Рисунок 5 – Зависимости изменения линейных размеров ткани после мокрой обработки:
а – от плотности по утку, б – от коэффициента переплетения
Figure 5 – Dependences of changes in the linear dimensions of the fabric after wet treatment:
a – from the density of the weft, b – from the coefficient of interlacing

Рисунок 5 иллюстрирует, что при увеличении плотности по утку происходит снижение усадки ткани по ширине в среднем на 1,5 п.п. (на 37,4 %), одновременно происходит увеличение усадки по основе в среднем на 2,8 п.п. (на 32,6 %). Усадка по основе выше усадки по утку, это объясняется тем, что в процессе наработки ткани на станке нити основы подвергаются большим динамическим нагрузкам, которые в процессе стирки в свободном состоянии и сушки в расправленном виде вызывают релаксационные процессы в ткани и приво-

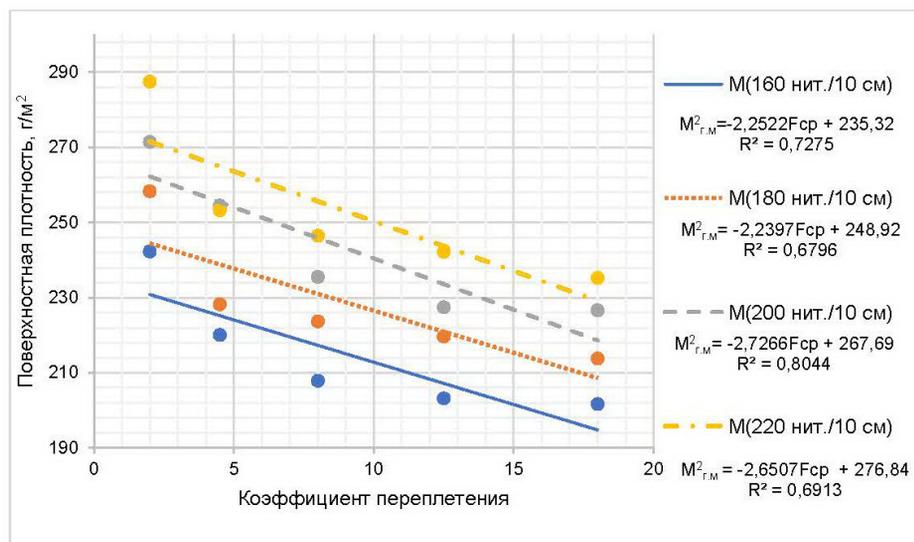
дят к изменению линейных размеров в большей степени по основе, чем по утку.

С увеличением коэффициента переплетения при равной плотности по утку усадка ткани по основе и по утку возрастает, что объясняется большей возможностью нитей, расположенных в длинном перекрытии, прийти в равновесное состояние.

На рисунке 6 представлены зависимости поверхностной плотности от плотности по утку (а) и коэффициента переплетения (б), г/м².



а



б (b)

Рисунок 6 – Зависимости поверхностной плотности тканей:
а – от плотности по утку, б – от коэффициента переплетения

Figure 6 – Dependences of the surface density of fabrics:
а – from the density of the weft, б – from the coefficient of interlacing

Поверхностная плотность ткани является одним из основных физико-механических свойств, определяющих ее назначение и способность быть использованной в определенном ассортименте в зависимости от климатических условий и условий ее эксплуатации. Из рисунка 6 видно, что с ростом плотности по утку возрастает поверхностная плотность ткани по линейной зависимости; с увеличением размера раппорта переплетения (соответственно с увеличением коэффициента переплетения) для каждой плотности нитей по утку снижается поверхностная плотность.

Анализ полученных результатов

Принимая во внимание, что средние значения показателей по каждому из физико-механических свойств исследуемых тканей отличаются друг от друга, можно утверждать о наличии влияния плотности по утку и вида переплетения на свойства ткани.

Увеличение плотности по утку приводит к росту разрывной нагрузки по основе и утку что объясняется изменением параметров строения ткани: увеличением коэффициента, определяющего высоту волны изгиба нитей основы относительно нитей утка и возрастанием сил трения между нитями разных систем [Казарновская, Милеева, 2022]. Кроме того, рост разрывной нагрузки полоски ткани по утку напрямую зависит от числа нитей в образце элементарной пробы. Рост же коэффициента переплетения снижает связанность между нитями двух систем и, как следствие, приводит к уменьшению сил трения между ними, это влечет за собой снижение разрывной нагрузки.

Разрывное удлинение при росте плотности по утку увеличивается в переплетениях с короткими перекрытиями, но с увеличением длины настилов оно начинает снижаться, причем это справедливо и для основы, и для утка. Такой результат объясняется тем, что нити в переплетениях с большим количеством взаимных пересечений являются более изогнутыми и в начале деформации удлинение происходит за счет распрямления самой нити, в то время как в ткани с длинными настилами этот процесс практически отсутствует. Четких закономерностей во влиянии коэффициента переплетения на разрывное удлинение не прослеживается.

Котонинсодержащая пряжа является рыхлой по своей структуре и особенно в ее верхнем слое, что влечет за собой высокую воздухопроницаемость исследуемых тканей. С увеличением плотности по утку снижается фактическое расстояние между нитями, ткань стано-

вится более заполненной волокнистым материалом. Это объясняет также рост стойкости к истиранию и поверхностной плотности при увеличении плотности по утку.

При постоянной плотности ткани воздухопроницаемость с увеличением коэффициента переплетения растет за счет меньшего числа взаимных пересечений и снижения прилегания друг к другу нитей противоположных систем в длинных перекрытиях.

Большой стойкостью к истиранию обладают ткани, выработанные равноусиленными переплетениями, так как их поверхность в одинаковой степени сформирована нитями основы и утка.

С ростом коэффициента переплетения снижается значение уработки нитей основы и утка, так как меньшая длина нити идет на формирование отрезка ткани, то есть убывает масса нити, зарабатываемой в ткань, и как следствие это приводит к уменьшению поверхностной плотности.

Пряжа пневмомеханического способа прядения обладает достаточно высокими значениями усадки, что связано с технологией ее получения. С ростом плотности по утку порядок фазы строения несколько увеличивается [Казарновская, Милеева, 2022], что приводит к росту уработки по основе и снижению уработки по утку, очевидно, что большая длина нити, идущая на формирование участка ткани, имеет большую усадку. Рост усадки с ростом коэффициента переплетения объясняется тем, что прямолинейные участки, не имеющие дополнительной связанности и возникающей при этом силы трения с противоположной системой нитей, обладают большими возможностями для изменения своих линейных размеров.

Для использования математического аппарата регрессионного анализа должны выполняться условия:

- ошибка измерения входного параметра пренебрежительно мала;
- ошибка выходного параметра имеет нормальный закон распределения;
- дисперсия выходного параметра одинакова для всех наблюдений (не зависит от уровня входного параметра).

Входными параметрами в исследовании являются коэффициент переплетения, рассчитанный без погрешности, и плотность ткани по утку, которая на ткацком станке устанавливается с пульта управления (компьютера) и поддерживается автоматически, поэтому первое условие удовлетворено.

В программе Excel в надстройке «Анализ данных» проведен однофакторный дисперсионный анализ (таблица 1) и построены гистограммы, показывающие закон распределения выходного параметра (рисунок 7) на примере выборок разрывной нагрузки ткани полотняного переплетения и ткани с плотностью по утку от 160 нит./10 см до 220 нит./10 см.

При проверке однородности дисперсий нескольких выборок одинакового размера наибольшей мощностью обладает критерий Кохрена, при котором в качестве нулевой гипотезы выдвигается утверждение о том, что дисперсии нескольких выборок равны. Наблюдаемое значение критерия Кохрена определяется по формуле:

$$G_H = \frac{\max_{i=1}^k S_i^2}{\sum_{i=1}^k S_i^2}, \quad (5)$$

где S_i^2 – дисперсия i -й серии опытов.

Наблюдаемое значение в данном случае составляет 0,353146, критическое значение критерия Кохрена $G_{(0.05;4;10)} = 0,3584$. Так как $G_H < G_{кр.}$, то нет оснований для отклонения нулевой гипотезы о том, что дисперсии однородны.

Гистограмма частот имеет вид параболы, что является доказательством нормального закона распределения, так как для него характерно, что незначительные, разные по знаку отклонения от среднего значения величины встречаются одинаково часто, а большие по абсолютной величине отклонения встречаются реже, чем малые.

Для доказательства выдвинутой гипотезы построены линейные однофакторные регрессионные модели, где

Таблица 1 – Значения дисперсии разрывной нагрузки по основе для полотняного переплетения

Table 1 – Values of the dispersion of the breaking load on the basis for the plain weave

Плотность по утку, нит./10 см	Номер испытания										Среднее значение	Оценка дисперсии
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
160	193	205	176	184	213	204	190	198	196	197	196	114,0444
180	195	206	216	224	202	224	204	219	221	203	211	112,6388
200	221	197	218	213	198	208	211	199	223	226	211	117,0265
220	228	206	224	213	217	235	225	231	238	233	225	104,6995

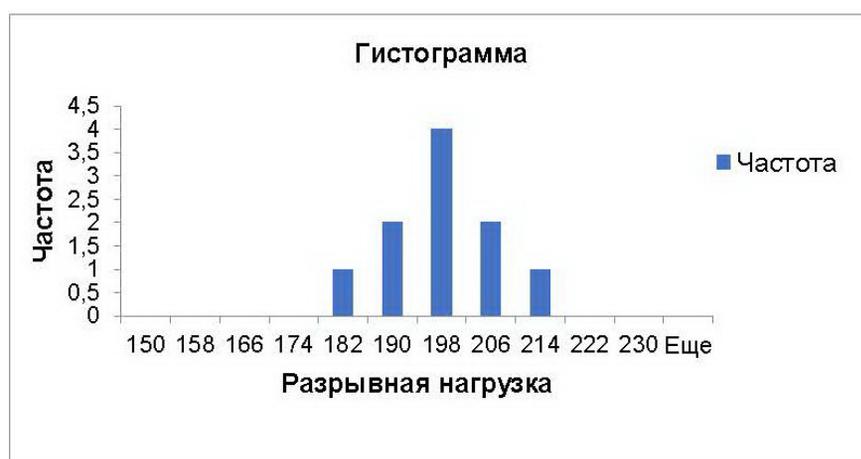


Рисунок 7 – Гистограмма распределения частоты разрывной нагрузки

Figure 7 – Histogram of the frequency distribution of the breaking load

входными параметрами является плотность по утку и коэффициент переплетения (рисунки 1–6).

Для оценки линейных моделей рассчитан коэффициент детерминации (R^2), который характеризует долю дисперсии выходного параметра, объясняемую уравнением регрессии, в общей дисперсии результативного признака. Величина коэффициента детерминации служит одним из критериев оценки качества линейной модели. Чем теснее линейная связь между переменными, тем коэффициент детерминации ближе к 1. Так как данные выборки имеют малый объёмом (в соответствии со стандартными методиками определения физико-механических свойств), то предложено считать модель качественной при коэффициенте детерминации свыше 0,95. Соответственно на долю дисперсии, вызванную влиянием не учтенных в модели факторов, приходится до 5 % общей дисперсии (Колентеев, Гончарова, 2021).

Таким образом, для всех показателей физико-механических свойств установлены зависимости от плотности по утку, выраженные математическими моделями линейного характера с коэффициентами детерминации, варьирующимся в интервале от 0,84 до 1,0, что говорит о тесной связи между входными и выходными параметрами. Однако высоким качеством линейной модели обладают не все показатели физико-механических свойств. Разрывная нагрузка, разрывное удлинение и изменение линейных размеров по утку после мокрой обработки имеют скорее не линейный характер, в то время как воздухопроницаемость, стойкость к истиранию, поверхностная плотность и изменение размеров по основе после мокрой обработки могут быть описаны с

применением линейной зависимости.

Коэффициент детерминации в уравнениях линейной зависимости физико-механических свойств от коэффициента переплетения наиболее часто находится в интервале от 0,8 до 0,89, что свидетельствует о низком качестве линейных моделей. Наименьшие значения показателя имеют модели определения разрывного удлинения и стойкости к истиранию от коэффициента переплетения, что свидетельствует о слабой корреляции между данными факторами. Плотность по утку в большей степени влияет на значение показателей физико-механических свойств.

Выводы

1. Вид переплетения и плотность по утку оказывают влияние на средние значения физико-механических свойств тканей костюмного ассортимента из котонин-содержащей пряжи, причем плотность по утку влияет в большей степени, чем вид переплетения.

2. Математические зависимости таких свойств как разрывная нагрузка, разрывное удлинение и изменение линейных размеров по утку после мокрой обработки от плотности по утку имеют скорее не линейный характер, а воздухопроницаемость, стойкость к истиранию, поверхностная плотность и изменение размеров по основе после мокрой обработки располагают линейной корреляцией между параметрами.

3. Низкий коэффициент детерминации в математических моделях, устанавливающих зависимость свойств от коэффициента переплетения, указывает на меньшее влияние входного параметра на свойства и на то, что это влияние осуществляется не по линейному закону.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Абдугаффаров, А.А., Очилов, Т.А., Валиева, З.Ф., Гафурова, С.С. и Корабельников, А.Р. [2022]. Изменения физико-механических свойств пряжи различного волокнистого состава. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 5 (401), С. 83–87.

Веселова, С.А. и Архалова, В.В. [2020]. Исследование свойств тканей для детской одежды костюмного ассортимента. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. Т 48, № 2, С. 25–28.

Голубев, Е.В. и Романов, В.В. [2019]. Моделирование и оптимизация натяжения нити при ткачестве. *Мехатроника, автоматика и робототехника*. № 3, С. 105–108.

Дягилев, А.С., Коган, А.Г. и Мурычев, П.В. [2013]. Оценка эффективности технологических процессов формирования продуктов прядения из котонизированного льна. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 25, С. 19–26.

Дягилев, А.С., Бизюк, А.Н. и Коган, А.Г. (2015). Исследование цветовых характеристик льноволокна в процессе чесания. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 29, С. 31–42.

Ефременко, Н. М., Небова, О. А. и Усачева, О. И. (2006). Короткий лен. Новые технологии. Новые ткани. *Текстильная промышленность*. № 5, С. 42–43.

Жолдасова, А.Б., Даминов, А.Д. и Рахимходжаев, С.С. (2024). Влияние на плотность и на коэффициент наполнения переплетения новой сорочечной ткани. *Universum: технические науки*, № 2-4 (119), С. 65–71.

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 легкой промышленности*. Т 57, № 3, С. 63–67.

Карев, А.С., Чешкова, А.В., Белякова, Т.Н., Захарова, И.М., Воронин, А.М. (2010). Влияние влажности короткого льняного волокна на процесс ферментно-механической котонизации. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 7 (328), С. 34–37.

Колентеев, Н.Я. и Гончарова, О.А. (2021). Коэффициенты корреляции и детерминации. *Специальная техника и технологии транспорта*. № 10, С. 206–212.

Корабельников, А.Р., Вихарев, С.Н. и Корабельников, Р.В. (2008). Особенности взаимодействия острия игл игольчатой гарнитуры с волокном при котонизации. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 3 (308), С. 24–26.

Куликов, А.В. (2012). Разработка метода косвенной оценки длины непараллелизованного льняного волокна. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 2 (338), С. 28–31.

Ландовская, И.Е. и Ландовский, В.В. (2013). Компьютерное моделирование ткани. *Инновации в науке*. № 24. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-tkani>. Дата обращения: 21.08.2024.

Ложкин, Н.Д. и Рыжкова, Е.А. (2024). Особенности разработки системы качества контроля качества технических тканей. *Сборник научных трудов кафедры автоматики и промышленной электроники Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина : Сборник научных трудов. – Москва : Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)*, С. 109–113.

Максач, В.В., Чижик, М.А. и Юрков, В.Ю. (2024). Разработка математической модели процесса формообразования поверхности из драпируемых материалов. *Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности*. Т 65, № 1, С. 9–14.

Милеева, Е.С. и Казарновская, Г.В. (2020). Анализ влияния крутки на показатели качества котонинсодержащей пряжи пневмомеханического способа формирования. *Вестник Витебского государственного технологического университета*. № 1 (38), С. 59–70.

Николаев, С.Д., Михеева, Н.А. и Парфенов, О.В. (2008). Влияние вида переплетения на параметры строения тканей. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 2С (307), С. 59–60.

Полякова, Л.П. (2007). Исследование влияния переплетения основных и уточных нитей на прочностные и гигиенические свойства однослойных тканей. *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*. № 1 (300), С. 77–82.

Разумеев, К.Э., Юсупова, Н.Б., Назарова, Д.Т. и Ташпулатов, С.Ш. (2019). Улучшение качества костюмных хлопчатобумажных тканей в зависимости от опорной поверхности ткани. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. № 5 (383), С. 85–88.

Сулайман, О., Койтова, Ж.Ю., Телицын, А.А. и Борисова, Е.Н. (2022). Исследование свойств льносодержащих тканей с вложением эластана при многократных стирках. *Технологии и качество*, № 4 (58), С. 7–11.

Bogdanov, A.I. and Kaisheva, K.V. (2022). Application of Qualimetry methods to perceived quality estimation. *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии*, № 2, Р. 71–74.

REFERENCES

- Abdugaffarov, A.A., Ochilov, T.A., Valieva, Z.F., Gafurova, S.S. and Korabelnikov, A.R. (2022). Changes in the physical and mechanical properties of yarn of various fibrous composition [Izmeneniya fiziko-mekhanicheskikh svoystv pryazhi razlichnogo voloknistogo sostava]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 5 (401), pp. 83–87 (In Russian).
- Veselova, S.A. and Arkhalova, V.V. (2020). Investigation of the properties of fabrics for children's clothing of the costume range [Issledovanie svoystv tkanej dlya detskoj odezhdy kostyumnogo assortimenta]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = The News of higher educational institutions. Technology of light industry*. vol. 48, № 2, pp. 25–28 (In Russian).
- Golubev, E.V. and Romanov, V.V. (2019). Modeling and optimization of thread tension during weaving [Modelirovanie i optimizatsiya natyazheniya niti pri tkachestve]. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika = Mechatronics, automation and robotics*. № 3, pp. 105–108 (In Russian).
- Diaghilev, A.S. Kogan, A.G. and Murychev, P.V. (2013). Evaluation of the effectiveness of technological processes for the formation of spinning products from cottonized flax [Ocenka effektivnosti tekhnologicheskikh processov formirovaniya produktov pryadeniya iz kotonizirovannogo l'na]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*. № 25, pp. 19–26 (In Russian).
- Diaghilev, A.S., Bizyuk, A.N. and Kogan A.G. (2015). Investigation of the color characteristics of flax fiber in the carding process [Issledovanie cvetovykh harakteristik l'novolokna v processe chesaniya]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*. № 29, pp. 31–42 (In Russian).
- Nikolaev, S.D., Mikheeva, N.A. and Parfenov, O.V. (2008). The influence of the type of weave on the parameters of the structure of fabrics. News of higher educational institutions [Vliyanie vida perepleteniya na parametry stroeniya tkanej]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 2C (307), pp. 59–60 (In Russian).
- Zholdasova, A.B., Daminov, A.D. and Rakhimkhodzhaev, S.S. (2024). The effect on the density and filling coefficient of the weave of the new magpie fabric [Vliyanie na plotnost' i na koeffitsient napolneniya perepleteniya novoj sorochechnoj tkani]. *Universum: tekhnicheskie nauki = Universum: Technical Sciences*, № 2-4 (119), pp. 65–71 (In Russian).
- Kazarnovskaya, G.V. and Mileeva, E.S. (2022). Investigation of the influence of tissue structure parameters on the processing of warp and weft threads for the design of large-patterned weaves [Issledovanie vliyaniya parametrov stroeniya tkanej na urabotku nitej osnovy i utka dlya proektirovaniya krupnouzorchatykh perepletenij]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = The News of higher educational institutions. Technology of light industry*. Vol. 57, № 3, pp. 63–67 (In Russian).
- Karev, A.S., Cheshkova, A.V., Belyakova, T.N., Zakharova, I.M. and Voronin, A.M. (2010). The effect of moisture content of short flax fiber on the process of enzymatic mechanical cottonization [Vliyanie vlazhnosti korotkogo l'nyanogo volokna na process fermentno-mekhanicheskoy kotonizatsii]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 7 (328), pp. 34–37 (In Russian).
- Kolenteev, N.Ya. and Goncharova, O.A. (2021). Correlation and determination coefficients [Koeffitsienty korrelyatsii i determinatsii]. *Special'naya tekhnika i tekhnologii transporta = Special equipment and transport technologies*. № 10, pp. 206–212 (In Russian).
- Korabelnikov, A.R., Vikharev, S.N. and Korabelnikov, R.V. (2008). Features of the interaction of the needle tip of a needle headset with fiber during cottonization [Osobennosti vzaimodejstviya ostriya igl' igol'chatoj garnitury s voloknom pri kotonizatsii]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. № 3 (308), pp. 24–26 (In Russian).
- Kulikov, A.V. (2012). Development of a method for indirect estimation of the length of non-parallelized linen fiber. News of higher educational institutions [Razrabotka metoda kosvennoj ocenki dliny neparallelizovannogo l'nyanogo volokna].

Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. № 2 (338), pp. 28–31 (In Russian).

Landovskaya, I.E. and Landovsky, V.V. (2013). Computer modeling of tissue [Komp'yuternoe modelirovanie tkani]. *Innovacii v nauke = Innovations in science.* № 24. Access mode: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompyuternoe-modelirovanie-tkani>. Access date: 08/21/2024 (In Russian).

Lozhkin, N.D. and Ryzhkova, E.A. (2024). Features of the development of a quality control system for the quality of technical fabrics [Osobennosti razrabotki sistmy kachestva kontroya kachestva tekhnicheskikh tkanej]. *Sbornik nauchnykh trudov kafedry avtomatiki i promyshlennoj elektroniki Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.N. Kosygina = Collection of scientific papers of the Department of Automation and Industrial Electronics of the Kosygin Russian State University : Collection of scientific papers. – Moscow : A.N. Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art),* Pp. 109–113 (In Russian).

Maksach, V.V., Chizhik, M.A. and Yurkov, V.Yu. (2024). Development of a mathematical model of the surface shaping process from draped materials [Razrabotka matematicheskoy modeli processa formoobrazovaniya poverhnosti iz drapiruemykh materialov]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti = The News of higher educational institutions. Technology of light industry.* Vol. 65, № 1, pp. 9–14 (In Russian).

Mileeva, E.S. and Kazarnovskaya, G.V. (2020). Analysis of the effect of twisting on the quality indicators of cottonine-containing yarn of the pneumomechanical method of formation [Analiz vliyaniya krutki na pokazateli kachestva kotoninsoderzhashchej pryazhi pnevmomekhanicheskogo sposoba formirovaniya]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University.* № 1 (38), pp. 59–70 (In Russian).

Efremenko, N.M., Nebova, O.A. and Usacheva, O.I. (2006). Short linen. New technologies. New fabrics [Korotkij len. Novye tekhnologii. Novye tkani]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* № 5, Pp. 42–43 (In Russian).

Polyakova, L.P. (2007). Investigation of the influence of the interweaving of basic and weft threads on the strength and hygienic properties of single-layer fabrics [Issledovanie vliyaniya perepleteniya osnovnykh i utochnykh nitej na prochnostnye i gigienicheskie svoystva odnoslojnykh tkanej]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* № 1 (300), pp. 77–82 (In Russian).

Razumeev, K.E., Yusupova, N.B., Nazarova, D.T. and Tashpulatov, S.Sh. (2019). Improving the quality of costume cotton fabrics depending on the fabric support surface. News of higher educational institutions [Uluchshenie kachestva kostyumnykh hlochatobumazhnykh tkanej v zavisimosti ot opornoj poverhnosti tkani]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti.* № 5(383), pp. 85–88 (In Russian).

Sulaiman, O., Koitova, J.Y., Telitsyn, A.A. and Borisova, E.N. (2022). Investigation of the properties of flax-containing fabrics with elastane attachment during repeated washings [Issledovanie svoystv l'nosoderzhashchih tkanej s vlozheniem elastana pri mnogokratnykh stirkah]. *Tekhnologii i kachestvo = Technologies and Quality,* № 4 (58), pp. 7–11 (In Russian).

Bogdanov, A.I. and Kaisheva, K.V. (2022). Application of Qualimetry methods to perceived quality estimation [Application of Qualimetry methods to perceived quality estimation]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizajna = Bulletin of the St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 4: Industrial Technologies,* № 2, P. 71–74.

Информация об авторах

Information about the authors

Милеева Екатерина Сергеевна

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Дизайн и мода», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: kati.mileeva@gmail.com

Казарновская Галина Васильевна

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Дизайн и мода», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: galina_kazarnovskaya@mail.ru

Katsiarina S. Mileeva

Candidate of Sciences (in Engineering), Senior Lecturer of the Department "Design and Fashion", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: kati.mileeva@gmail.com

Galina V. Kazarnovskaya

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

E-mail: galina_kazarnovskaya@mail.ru

Использование минеральных добавок в функциональном текстиле

В. Т. Липик

Наньянский технологический университет, Сингапур

Аннотация. Разработка текстиля с минеральными добавками имеет актуальный потенциал применения. Такие ткани могут использоваться для улучшения кровообращения у людей с хроническими заболеваниями, облегчения мышечной боли, поддержки послеоперационного восстановления. В спорте и повседневной жизни текстиль с позитивным влиянием на кровоснабжение помогает ускорить восстановление, улучшить снабжение мышц кислородом и снизить риск травм. Цель исследования заключалась в оценке воздействия тканей с добавками гематита, охры и графена на организм человека как в состоянии покоя, так и при физических нагрузках, а также в изучении их потенциала для применения в спортивной одежде. В работе было исследовано влияние добавок графена, охры и гематита к полипропиленовой ткани на ряд биологических параметров волонтеров в состоянии покоя и при выполнении физических упражнений. Смещение полимера с добавками, взятыми в количестве 2 % массовых, было сделано путем компаундирования с последующим получением нити и одежды. Предполагаемое воздействие на волонтеров основано на эмиссии добавками инфракрасного излучения. В состоянии покоя одежда с охрой и гематитом замедлила снижение интенсивности кровотока на 15–20 % по сравнению с одеждой сравнения. При выполнении упражнений у волонтеров, одетых в одежду с охрой или гематитом, увеличилась интенсивность кровотока в 2–2,5 раза чем в одежде-образце. При этом зафиксирована шестикратная разница в увеличении диаметра локтевой артерии при воздействии добавок гематита и охры по сравнению с экспериментом, где использовалась одежда сравнения.

Ключевые слова: функциональная нить, неорганические добавки, эмиссия, инфракрасное излучение, интенсификация кровообращения.

Информация о статье: поступила 20 ноября 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).

Application of mineral additives in functional textiles

Vitali T. Lipik

Nanyang Technological University, Singapore

Abstract. The development of textiles with mineral additives holds significant potential for real-world applications. Such fabrics can enhance blood circulation in individuals with chronic conditions, alleviate muscle pain, and support postoperative recovery. In sports and daily life, textiles with positive effects on blood flow can accelerate recovery, improve muscle oxygenation, and reduce the risk of injuries. This study aimed to evaluate the effects of fabrics containing hematite, ochre, and graphene additives on human physiological parameters both at rest and during exercise, as well as to explore their potential for sportswear applications. The additives were incorporated into polypropylene at 2 % by weight through compounding, followed by the production of yarn and fabrics. The expected effects are based on the infrared radiation emitted by the additives. At rest, garments with ochre and hematite reduced the decline in blood flow intensity by 15–20 % compared to reference apparel. During exercise on an indoor bicycle, blood flow intensity in volunteers wearing apparel with ochre or hematite increased by 2 to 2.5 times compared to reference garments. Additionally, the diameter of the elbow artery expanded sixfold more under the influence of hematite and ochre compared to reference or placebo garments.

Keywords: functional yarn, inorganic additives, emission, infrared radiation, intensification of blood circulation.

Article info: received November 20, 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

В последнее время в производстве текстиля выделилось направление, связанное с добавкой в волокно неорганических веществ, минералов, биокерамики, благородных металлов способных излучать инфракрасные лучи в дальней области спектра. Одежда с добавками излучающими инфракрасный (ИК) спектр оказывает положительные эффекты на тело человека [Leung, 2015]. Эти свойства тканей особенно привлекательно выглядят для применения в изделиях, используемых в медицине и спорте [Libanori, 2022].

При исследовании влияния ИК на организм человека установлены следующие положительные эффекты. Наиболее часто обнаруживаемое влияние тканей с ИК – это термоэффекты, увеличение кровотока [Molina, 2016], влияние на массу тела [Luis Augusto and Munin, 2011; Luis Augusto and Munin, 2013], уменьшение боли и улучшение качества сна [Silva et al., 2009]. Улучшение кровообращения помогает снизить болевые ощущения [Santos E Campos, 2017], быстрее удалить гематомы, поддерживать терморегуляцию тела [Zuo, 2023]. Помимо этого, эти текстильные изделия показывают перспективы ускорения восстановления у спортсменов или людей, проходящих физиотерапию.

По сравнению с традиционными медицинскими решениями текстильные изделия обладают уникальными преимуществами. Во-первых, одежда может обеспечивать длительный терапевтический эффект, поскольку ее носят в течение длительного времени, часто 8–10 часов и более. Более того, эти текстильные изделия распределяют свое воздействие по всему телу, что не имеет себе равных среди большинства медицинских устройств, которые обычно воздействуют на локализованные области.

Другое преимущество заключается в неинвазивной природе одежды. В отличие от лекарств, которые подразумевают прием внутрь химических веществ, способных иметь долгосрочные побочные эффекты, терапевтический текстиль работает снаружи, сводя к минимуму риски токсичности или побочных реакций. Это делает его особенно привлекательным для долгосрочного исполь-

зования или для людей с чувствительностью к традиционным методам лечения.

Применение тканей с ИК в области спорта показало улучшение производительности, скорейшее восстановление и уменьшение болезненности мышц после тренировки [Loturco et al., 2016; Nunes et al., 2020] и снижение потребления кислорода во время тренировки при выполнении упражнений низкой интенсивности. Одновременно со снижением потребления кислорода, одежда, создающая излучение в длинноволновом диапазоне, логично повышает эффективность использования кислорода клетками человека [Worobets, Skolnik and Stefanshyn, 2015]

В качестве биокерамики, излучающей инфракрасное излучение, в основном используются неорганические оксиды, такие как Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , TiO_2 и ZnO и др. Нередко в качестве добавки используют природные минералы: мейфан, нефрит, турмалин, слюда [Vatansever and Hamblin, 2012]. Помимо неорганических оксидов необходимо отметить добавку в текстиль углеродных материалов, а в частности графена, который имеет хорошую теплопроводность и хорошо отражает инфракрасное излучение.

Существуют промышленные производства тканей с функциональными неорганическими добавками, фокусирующиеся на двух областях: спорт и медицина. Компания Celliant использует смеси оксидов титана, кремния и алюминия для отражения ИК излучения обратно к телу человека, что приводит к улучшению снабжения тканей кислородом [celliant.com]. Продукты компании Celliant признаны FDA медицинским оборудованием. Корейская компания Ventex Co Ltd добавляет в пряжу более 30 неорганических добавок обладающих различным эффектом на тело человека [ventexkorea.com]. Их продукты с торговыми марками Megaheat и Powerkler обладают способностью улавливать тепло от человеческого тела и возвращать ИК излучение обратно, что повышает скорость кровотока на 11,2 %. Компания Underarmour выпускает коллекцию одежды Recover™ с минеральными добавками ускоряющими восстановление после занятий спортом [underarmour.com]. В 2020 году компа-

ния получила патент на данную разработку, согласно которому в пряжу либо в принт добавляют кремний, карбид циркония, оксид алюминия и другие материалы (Patent US10563349B2). Не только оксиды и минералы используются как добавка к пряжам. Японская компания Biofase Co Ltd добавляет в пряжу наночастицы платины для улучшения синтеза коллагена с положительным влиянием на кожу человека.

Актуальность разработок текстиля с минеральными добавками и области применения огромны. Его можно использовать для лечения хронических заболеваний, таких как плохое кровообращение у больных диабетом, для облегчения мышечной боли или даже для поддержки послеоперационного восстановления. Для пожилых людей этот текстиль может играть важную роль в поддержании здоровья сосудов и предотвращении осложнений, таких как тромбоз глубоких вен. Помимо медицинского применения, ткани с положительным влиянием на систему кровоснабжения человека будут успешно применяться в повседневной жизни и в спорте для ускорения восстановления после тренировок, для предварительного разогрева мышц, позволяющего снизить вероятность травм, для улучшения снабжения мышц кислородом, что приводит к росту спортивных показателей и меньшей утомляемости в любительском спорте. В данной работе приведены результаты разработки тканей с тремя видами добавок – гематита, охры и графена, целью которых являлось определения их влияния на тело человека в состоянии покоя и при выполнении физических упражнений. Исследования были ориентированы на последующее возможное применение подобных функциональных тканей в спортивной одежде.

Методы и материалы

Полипропилен для изготовления пряжи закуплен у нидерландской компании LuondellBasel. Графен получен от сингапурской компании 2DM Materials Pte Ltd. Минеральные добавки – красная охра и гематит в виде измельченной руды, были куплены у сингапурской компании Joo Huat Trading Pte Ltd.

Минералы проходили стадию дробления на дисковом измельчителе 150 Lab Pulverizer компании Ganzhou Li Ang Machinery Pte Ltd с последующим измельчением в шаровой мельнице мокрого помола компании ELE модели ESW-1.0. Средний размер частиц после помола составлял 1,90 мкм, с диаметром $D_{90} = 2,93$ мкм для гематита и соответственно 1,72 мкм с диаметром $D_{90} = 2,48$ мкм для красной охры. Сушка частиц после

помола проводилась в распылительной сушилке компании Xiamen Ollital Technology Co. Ltd. Температура горячего воздуха для сушки составляла 270 °C.

Полученные пудры гематита и красной охры исследовали с использованием рентгеноструктурного анализа с определением составов на приборе Shimadzu XRD-6000. Определенные составы гематита: SiO_2 – 2,64 %, Fe_2O_3 – 83,98 %, Al_2O_3 – 1,87 %, CaO – 5,75 %, P_2O_5 – 5,39 %; охры: SiO_2 – 14,51 %, Fe_2O_3 – 69,34 %, Al_2O_3 – 10,98 %, CaO – 1,94 %, TiO_2 – 1,71 %.

Приготовление нити и полотна с функциональными добавками

Компаундирование полимера с функциональными добавками производили на экструдере-компаундере фирмы Wuhan Ruiming (Китай). Целевое содержание добавок в полипропилене составляло 2 % массовых.

Нить производилась на лабораторном экструзионном модуле компании FET (Великобритания) с червяком диаметром 25 мм; соотношением длины к диаметру – 30. Скорость вращения червяка составляла 20 оборотов в минуту. Температуры приемной зоны полимерных гранул и четырех зон нагрева экструдера составляли 200, 210, 220, 220 и 240 градусов. Температура полимерного насоса – 250 градусов, а воротника фильеры – 240 градусов. Для изготовления нити использовали фильеру с 48 отверстиями с диаметром отверстий 0,4 мм, что позволяло при вышеприведенных параметрах экструзионного модуля получать нить с линейной плотностью 75 денье (8,33 текс).

Трикотажное полотно производилось на циркулярной машине компании Heifei AT250 Lab Knitter Anytester Китай с калибром 24, диаметром барабана 40 см.

Содержание гематита и охры в тканях проверили с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии на приборе компании Jeol модель JSM 7600F. Элементное содержание компонентов добавок хорошо видно для обеих тканей (рисунок 2).

Метод FESEM-EDX не является количественным, а сами волокна достаточно трудный объект для такого анализа. Но данный результат позволяет заключить, что добавки присутствуют в конечном продукте.

Эмиссия тканей в диапазоне 4–15 мкм, что максимально приближено к диапазону эмиссии человеческого тела, была измерена при 34 °C с использованием тестера Far Infrared Emissivity Analysis System (HOTTECH EMS302M, Тайвань).



Рисунок 1 – Нити и трикотажные полотна:

*1А – образец сравнения – полипропилен без добавок; 1Б – полипропилен с графеном;
1С – полипропилен с гематитом; 1Д – полипропилен с красной охрой*

Figure 1 – Yarns and knitted fabrics:

*1A – reference – polypropylene without additives; 1B – polypropylene with graphene;
1C – polypropylene with hematite; 1D – polypropylene with red ochre*

Эфюзивность пленок при 24 °С была измерена при помощи измерителя тепловой эфюзивности Thermtest (Канада). Эфюзивность представляет собой скорость, с которой материал поглощает тепло. При низких значениях эфюзивности материал ощущается теплым на ощупь, при высоких значениях – холодным. Эфюзивность определялась по стандарту ASTM D7984-16.

Испытания на волонтерах

Испытания одежды с добавками на волонтерах проводились на факультете спорта Национально-

го Института Образования Сингапура, согласно протоколу, утвержденному комитетом по биоэтике IRB 2022-747 Investigation of the effect of functional apparels on the blood flow during exercise (Nanyang Technological University). Протокол включал две стадии исследования: влияние функциональных тканей на показатели волонтеров в состоянии покоя и во время выполнения физических упражнений, что является стандартом в такого типа исследованиях (Leung, 2013).

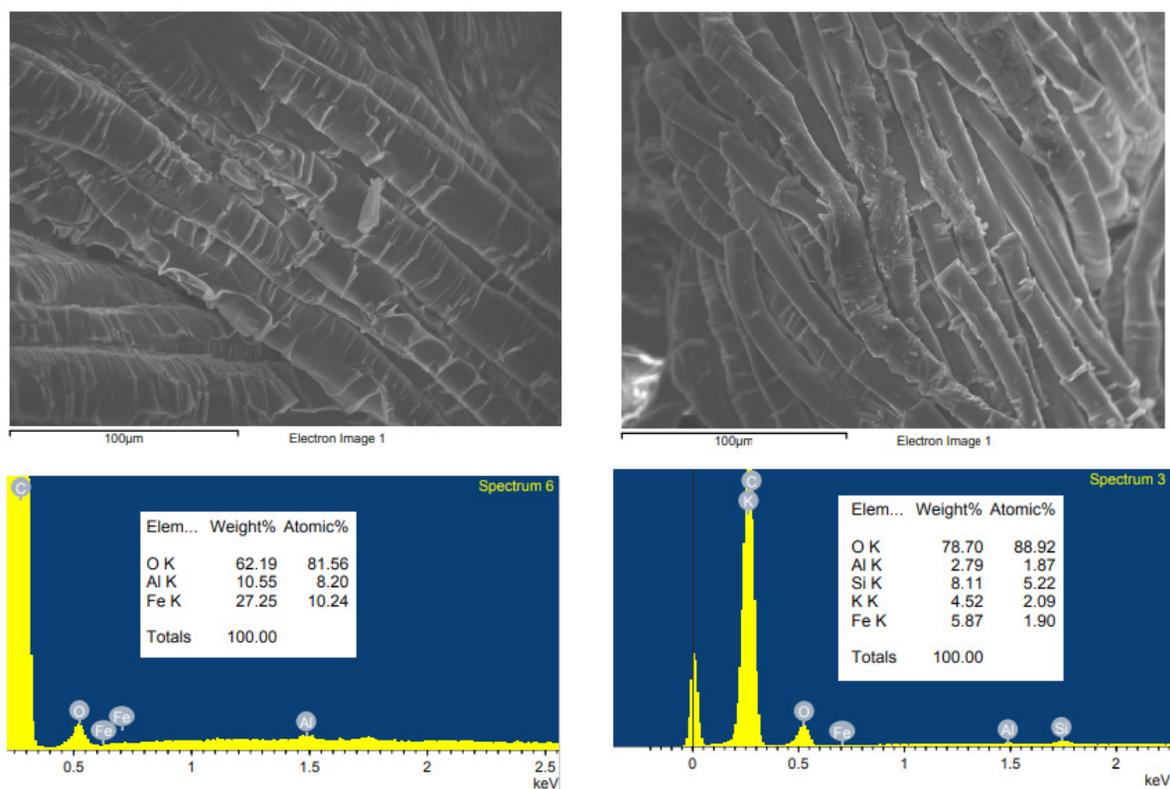


Рисунок 2 – Содержание элементов в тканях с добавками гематита (слева) и охры (справа)
Figure 2 – Content of chemical elements in fabrics with additives hematite (left) and ochre (right)

В состоянии покоя волонтеры проходили десятиминутную стадию адаптации в положении сидя, после чего выполнялись измерения исходных показателей организма человека. Затем волонтер менял одежду на образец с функциональными добавками или образец плацебо и находился в состоянии лежа 30 минут. В течении этих 30 минут постоянно измерялись средняя температура тела и показатели метаболизма. После окончания опыта, как и перед опытом, у волонтеров измеряли давление, диаметр локтевой артерии и скорость кровотока в ней.

При выполнении упражнений волонтеры проходили адаптацию в течении 10 минут, на протяжении которых выполнялась разминка. После этого у волонтеров измеряли вес, давление, диаметр локтевой артерии и величину кровотока в ней. При выполнении упражнения на велотренажере волонтеры поддерживали постоянный пульс 130 ударов в минуту. На протяжении выполнения

упражнений выполнялось постоянное измерение частоты сердечных сокращений, средней температуры тела и показателей метаболизма. Фотографии проведения двух частей эксперимента приведены на рисунке 3.

Для каждого образца ткани и для образца плацебо все измерения проводились на 14 волонтерах в состоянии покоя и на 18 волонтерах при выполнении упражнений. Возраст волонтеров составлял 21–30 лет. Волонтеры подбирались не курящие и не имеющие хронических заболеваний, с индексом массы тела, находящимся в пределах 20–24.

Измерение скорости кровотока и диаметра локтевой артерии проводили ультразвуковым прибором Mindray M7. Измерение средней температуры тела проводили по стандарту ISO 9886:2004 Ergonomics – Evaluation of thermal strain by physiological measurement по 8 точкам с использованием беспроводных сенсоров с памятью iButton 700 DS1925L-F5 компании Mouser Electronics.



Рисунок 3 – Исследование влияния функциональной ткани на волонтерах в состоянии покоя (слева); и при выполнении упражнений на велотренажере (справа)
 Figure 3 – Study of the effect of functional fabrics on volunteers at resting condition (left); and during exercise on the stationary bicycle (right)

Измерение метаболизма волонтеров, концентрацию кислорода и углекислого газа проводили на оборудовании компании Biopack (USA). Для измерения частоты сердечных сокращений использовали нагрудный пояс Polar.

Результаты и обсуждения

Эмиссия тканей с добавками

Эмиссия в длинноволновом инфракрасном диапазоне базового образца и образцов тканей с добавками минеральных пудр показаны на рисунке 4.

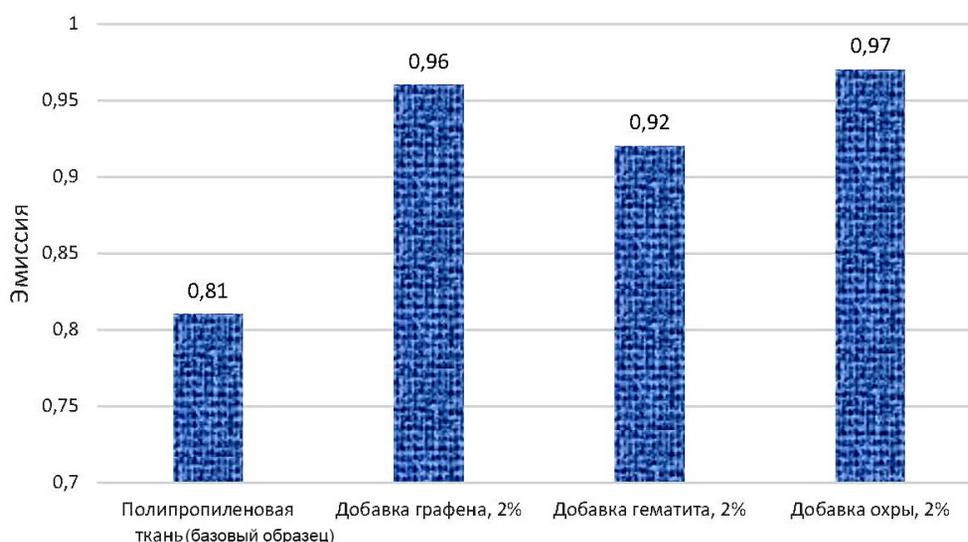


Рисунок 4 – Эмиссия тканей в диапазоне волн 4–15 мкм по соотношению к эмиссии черного тела
 Figure 4 – IR emission of fabric samples at 4–15 μm wavelength range relative to blackbody emission

Полипропиленовая ткань сравнения имела молочный цвет полимера и, как и ожидалось, не показала высокую эмиссию по причине невысокой способности поглощать тепло. Все добавки существенно увеличили эмиссию материала, при этом графен и охра показали высшую эффективность.

Полипропилен относят к охлаждающим тканям по причине гидрофобности и хорошего отведения влаги, и большой теплоемкостью [Abada, 2022]. Помимо этого, полипропилен более прозрачен для ИК излучения по сравнению с полиэфиром и нейлоном. Все эти свойства оказали влияние на значение эфюзивности образцов, полученных на базе полипропилена. Значение эфюзивности ткани сравнения и тканей с внедренными добавками приведены на рисунке 5.

Чистый полипропилен имеет более высокую эфюзивность, по сравнению с композитами, в которые добавили графен и минеральные добавки. То есть все добавки сдвинули эфюзивность полипропилена в зону более теплого тактильного ощущения, что ожидаемо, поскольку все добавки показали высокую способность задерживать и эммитировать тепло.

Влияние тканей с функциональными добавками на волонтеров в состоянии покоя

Изменение и процент изменения физиологических параметров волонтеров, испытывающих ткани с добавками в состоянии покоя приведены в таблице 1.

Из таблицы 1 видно, что ткани с добавками не позволили опуститься систолическому давлению волонтеров, находящихся в состоянии покоя, как в случае с тканью сравнения. Одновременно ткани с добавками незначительно увеличили диастолическое давление. Изменение диаметра локтевой артерии более заметно. За 30 минут покоя интенсивность кровотока волонтеров замедлилась и диаметр артерии сократился, что видно на примере волонтеров испытывающих ткань сравнения. Ткани с добавкой гематита и охры оказали положительный активирующий эффект на систему кровоснабжения волонтеров, в результате чего диаметр локтевой артерии даже увеличился по сравнению с начальной точкой измерения. Такой же тренд мы видим и для показателя скорости кровотока. Он уменьшился во всех случаях за 30 минут покоя, но ткани с охрой и гематитом показали не такое быстрое уменьшение кровотока по сравнению с тканью сравнения и тканью с графеном.

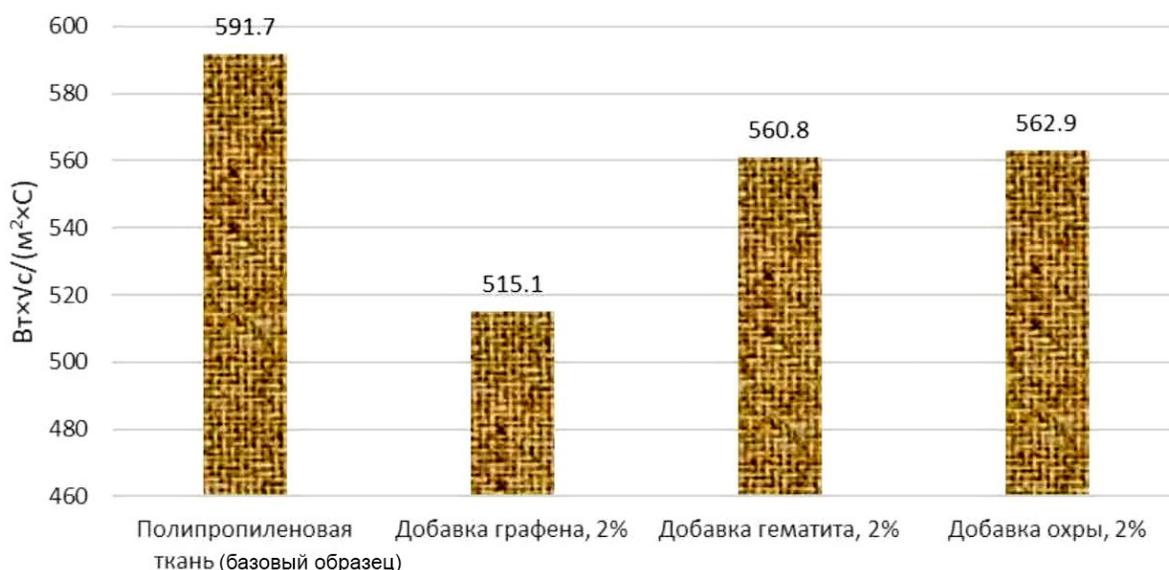


Рисунок 5 – Эфюзивность исследуемых образцов
Figure 5 – Effusivity of studied fabric samples

Таблица 1 – Изменение параметров тела волонтеров под влиянием тканей с разными добавками в состоянии покоя

Table 1 – Changes in volunteers' body physiological parameters under the influence of fabrics with different additives at resting condition

Изменение измеряемого параметра	Ткань из чистого полипропилена		Ткань с добавкой 2 % графена		Ткань с добавкой 2 % гематита		Ткань с добавкой 2 % охры	
	Δ	%	Δ	%	Δ	%	Δ	%
Систолическое давление, мм.рт.ст.	- 3,9	- 3,54	- 3,4	- 3,11	- 1,1	- 1,02	- 1,0	- 0,92
Диастолическое давление, мм.рт.ст.	+ 0,1	+ 0,14	+ 0,5	+ 0,62	+ 1,2	+ 1,73	+ 1,2	+ 1,73
Диаметр локтевой артерии, мм	- 0,6	- 1,61	- 0,5	- 1,32	+ 0,1	+ 0,26	+ 0,3	+ 0,80
Скорость кровотока, мл/мин	-61,7	-54,2	-58,4	-58,01	-32,8	-37,35	-44,4	-42,07
Температура груди, °С	+ 1,09	+ 3,62	+ 1,1	+ 3,64	+ 1,27	+ 4,12	+ 1,60	+ 5,04
Температура спины, °С	+ 2,09	+ 6,20	+ 2,01	+ 6,03	+ 2,42	+ 7,41	+ 2,52	+ 7,78

Влияние тканей с функциональными добавками на волонтеров при выполнении упражнений

При выполнении упражнений было измерено больше физиологических параметров по сравнению с экспериментом, где волонтеры находились в состоянии покоя (таблица 2).

Последние четыре параметра в таблице 2 приведены на время окончания эксперимента, а остальные измерения отражают разницу между начальным состоянием организма волонтеров и состоянием после выполнения упражнений в течение 30 минут.

Среди всех измеренных параметров наибольшие отличия видны в диаметре локтевой артерии и скорости кровотока, где охра и гематит показали наибольший прирост. По воздействию гематита на организм волонтеров необходимо отметить наибольшую потерю массы тела, наибольшее увеличение температуры тела, наибольшее увеличение скорости кровотока, наименьшее падение концентрации глюкозы в крови и наибольшее окисление жиров. Несмотря на схожесть элементного состава гематита и охры, воздействие охры на организм человека при выполнении физических упражнений несколько иное. Очевидно, что охра привела к сдвигу метаболизма на подавляющее использование глюкозы. Именно при

исследовании влияния ткани с добавкой охры получено наибольшее падение концентрации глюкозы и увеличение количества лактата (продукта распада глюкозы) в крови, а также наибольшее содержание углекислого газа в выдыхаемом воздухе.

Ткань с графеном по измеренным показателям заняла промежуточное положение между тканью сравнения и тканями с минералами, выделившись от других исследуемых образцов лишь самым низким значением температуры тела волонтеров. Можно предположить, что добавка графена увеличила теплопроводность ткани, что способствовало лучшему отводу тепла.

Выводы

Использование тканей с введением в них неорганических материалов, способных отражать или эмитировать энергию человеческому телу в инфракрасном диапазоне, оказывает положительный эффект человеческому организму как в состоянии покоя, так и при выполнении физической активности. Добавка 2 % массовых гематита и охры к тканям, из которой была пошита одежда для волонтеров, улучшила кровоснабжение волонтеров как в состоянии покоя, так и при выполнении упражнений, увеличив диаметр кровеносных сосудов и интенсивность кровотока. При выполнении физических

Таблица 2 – Изменение параметров тела волонтеров под влиянием тканей с разными добавками при выполнении физических упражнений

Table 2 – Changes in volunteers' body physiological parameters under the influence of fabrics with different additives during physical exercise

Измеряемый параметр	Ткань из чистого полипропилена	Ткань с добавкой 2 % графена	Ткань с добавкой 2 % гематита	Ткань с добавкой 2 % охры
Изменение массы тела, г	- 353,7	- 389	- 401,9	- 377,8
Изменение концентрации глюкозы, ммоль/л	- 0,74	- 0,68	- 0,49	- 0,98
Изменение концентрации молочной кислоты, ммоль/л	+ 4,61	+ 4,92	+ 4,91	+ 5,11
Изменение диаметра локтевой артерии, мм	+ 0,3	+ 1,0	+ 1,7	+ 1,8
Изменение скорости кровотока, % превышение от изначального значения	+ 108,2	+ 128	+ 149,6	+ 127,5
Изменение средней температуры кожи, °С	+ 0,61	+ 0,45	+ 0,82	+ 0,47
Потребление кислорода (VO ₂), мл/(кг·мин)	27,0	27,5	26,5	29,3
Выделение углекислого газа (VCO ₂), мл/(кг·мин)	32,7	33,0	33,7	34,8
Окисление углеводов, г/мин	62,7	63,7	68,5	65,1
Окисление жиров, г/мин	9,3	9,5	11,7	9,14

упражнений на протяжении 30 минут добавка гематита увеличила скорость кровотока волонтеров на 146 %, тогда как одежда сравнения показала увеличение данного параметра на 108 %. Добавка графена и охры не привели к такому перегреву тела волонтеров во время выполнения упражнений, какой показала одежда сравнения. Температура волонтеров выполняющих упражнения в одежде с графеном и охрой выросла на 25 % меньше по сравнению с показателем, полученным при исследовании одежды сравнения.

Предполагается, что добавка неорганических веществ, способных эммитировать инфракрасный свет, затрагивает клеточный метаболизм. Это заметно по измеряемым макропараметрам, но достоверное утверждение возможно лишь при проведении более глубоких исследований.

Наиболее очевидный положительный эффект неорганических добавок, улучшающих кровоснабжение, может быть использован при изготовлении спортивной одежды и тканей, применяемых в медицине.

Работа выполнялась по гранту Министерства образования Сингапура – TIER 1 RT06/2021.

REFERENCES

- Abada, D., Maalouf, C., Sotehi, O., Rouag-Saffidine, D., Polidori, G., Boudjabi, A.F. and Derghout, Z. (2022). Performance evaluation of fabrics for evaporative cooling application. *Energy and Buildings*, vol. 266, DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112120.
- Blakely, K.S., Under Armour Inc. (2020). Apparel with heat retention layer and method of making the same. *United States. Pat. US10563349B2*.
- Celliant, (2024). [Online], Available from: <https://celliant.com>, (Accessed: 18.07.2024).
- Conrado, L.A. and Munin, E. (2013). Reductions in Body Measurements Promoted by a Garment Containing Ceramic Nanoparticles. *J. Cosmet. Dermatol.*, vol. 12, pp. 18–24.
- Conrado, L.A. and Munin, E. (2011). Reduction in Body Measurements after Use of a Garment Made with Synthetic Fibers Embedded with Ceramic Nanoparticles. *J. Cosmet. Dermatol.*, vol. 10, pp. 30–35. DOI: 10.1111/j.1473-2165.2010.00537.x.
- Leung, T.K. (2015). In vitro and in vivo studies of the biological effects of bioceramic (a material of emitting high performance far-infrared ray) irradiation. *Chinese Journal of Physiology*, vol. 58, no. 3, pp. 147–155. DOI: 10.4077/CJP.2015.BAD294.
- Leung, T.K., Kuo, C.H., Lee, C.M., Kan, N.W. and Hou, C.W. (2013). Physiological effects of bioceramic material: harvard step, resting metabolic rate and treadmill running assessments. *Chinese Journal of Physiology*, vol. 56, no. 6, pp. 334–340. DOI: 10.4077/CJP.2013.BAB132.
- Libanori, A., Chen, G., Zhao, X., Zhou, Y. and Chen, J. (2022). Smart textiles for personalized healthcare. *Nature Electronics*, vol. 5, pp. 142–156. DOI: 10.1038/s41928-022-00723-z.
- Loturco, I., Abad, C., Nakamura, F.Y., Ramos, S.P., Kobal, R., Gil, S., Pereira, L.A., Burini, F., Roschel, H., Ugrinowitsch, C. and Tricoli, V. (2016). Effects of Far Infrared Rays Emitting Clothing on Recovery after an Intense Plyometric Exercise Bout Applied to Elite Soccer Players: A Randomized Double-Blind Placebo-Controlled Trial. *Biol. Sport*, vol. 33(3), pp. 277–283. DOI: 10.5604/20831862.1208479.
- Molina, J. (2016). Graphene-Based Fabrics and Their Applications. *RSC Advances*, vol. 72, pp. 68261–68291.
- Nunes, R., Cidral-Filho, F., Flores, L., Nakamura, F., Rodriguez, H., Bobinski, F., Sousa, A., Petronilho, F., Gainski Danielski, L., Martins, M., Martins, D. and Guglielmo, L.G. (2020). Effects of Far-Infrared Emitting Ceramic Materials on Recovery During 2-Week Preseason of Elite Futsal Players. *J. Strength Cond. Res.*, vol. 34, pp. 235–248. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002733.
- Santos E Campos, M.A., Garcia Pinillos, F. and Latorre Roman, P.A. (2017). Reduction in pain after use of bioceramic undershirt for patients with Fibromyalgia. *Alternative Therapies in Health and Medicine*, vol. 23, no. 5, pp. 18–22.
- Silva, T., Moreira, G., Quadros, A., Pradella-Hallinan, M., Tufik, S. and Oliveira, A. (2009). Effects of the Use of MIG3 Bioceramics Fabrics Use – Long Infrared Emitter – in Pain, Intolerance to Cold and Periodic Limb Movements in Post-Polio Syndrome. *Arq. Neuropsiquiatr.*, vol. 67, pp. 1049–1053. DOI: 10.1590/S0004-282X2009000600016.
- Under Armour, (2020). *Put recovery at the top of your list*, [Online], Available from: <https://about.underarmour.com/en/stories/2020/10/put-recovery-at-the-top-of-your-list.html>, (Accessed: 18.07.2024).
- Vatanserver, F. and Hamblin, M.R. (2012). Far infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications. *Photonics laser Medicine*, vol. 4, pp. 255–266. DOI: 10.1515/plm-2012-0034.
- Ventex, (1999). [Online], Available from: <https://ventexkorea.com>, (Accessed: 18.07.2024).
- Worobets, J.T., Skolnik, E.R. and Stefanshyn, D.J. (2015). Apparel with far infrared radiation for decreasing athlete's oxygen consumption during submaximal exercise. *Research Journal of Textile and Apparel*, vol. 19, no. 3, pp. 52–57. DOI: 10.1108/RJTA-19-03-2015-B007.
- Zuo, X., Zhang, X., Qu, L. and Miao, J. (2023). Smart Fibers and Textiles for Personal Thermal Management in Emerging Wearable Applications. *Advanced Material Technology*, vol. 8, no. 6. DOI: 10.1002/admt.202201137.

Информация об авторах

Information about the authors

Липик Виталий Тадеушевич

Кандидат технических наук, ассистент профессора,
факультет материаловедения и инженеринга, Наньян-
ский технологический университет, Сингапур.
E-mail: vitali@ntu.edu.sg

Vitali T Lipik

Candidate of Sciences (in Engineering), Adjunct
Assistant Professor at School of Material Science and
Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
E-mail: vitali@ntu.edu.sg

Оценка износостойкости монолитных подошв обуви из термоэластопластов

А. Н. Буркин,
М. А. Нейфельд

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Износостойкость подошв является одним из важнейших эксплуатационных свойств обуви. На это свойство оказывает влияние ряд факторов: сырьевые материалы, параметры технологического процесса производства подошв, условия хранения и эксплуатации обуви и т. д. Каждый фактор в отдельности и их сочетание приводят к изменениям характеристик готового изделия, что вызывает необходимость оценки износостойкости обуви или деталей низа обуви. В статье была рассмотрена проблематика испытания современных подошв с глубоким рифлением протектора, на примере термоэластопластов (ТЭП).

Целью исследования являлась разработка методики исследования современных подошвенных материалов, имеющих рифления различной глубины, по показателю сопротивление истиранию при скольжении.

Методы исследования – стандартные методики оценки физико-механических полимерных подошвенных материалов. В результате работы предложена усовершенствованная методика испытания по показателю сопротивление истиранию, которая включает в себя новый подход к подготовке образцов, позволяющий проводить испытания подошв с глубоким рифлением, и рекомендации по процедуре испытания, а именно смена положения образцов через каждые 2,5 минуты. Разработанная методика легко воспроизводима в лабораторных условиях и не противоречит стандартной методике.

Ключевые слова: подошвы, современный ассортимент, свойства, оценка износостойкости, методика, прибор МИ-2.

Информация о статье: поступила 20 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).

Assessment of wear resistance of monolithic shoe soles made of thermoplastics

Alexander N. Burkin,
Maria A. Neufeld

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. The wear resistance of the soles is one of the most important performance properties of shoes. This property is influenced by a number of factors: raw materials, parameters of the technological process of production of soles, conditions of storage and operation of shoes, etc. Each factor, both individually and in combination, lead to changes in the characteristics of the finished product, which necessitates an assessment of the wear resistance of shoes or parts of the bottom of shoes. The article examines the problems of testing modern soles with deep tread corrugation, using the example of thermoelastoplasts (TEP).

The study aims to develop a methodology for the study of modern plantar materials with corrugations of various depths, in terms of abrasion resistance during sliding.

Research methods are standard methods for evaluating physico-mechanical polymer plantar materials.

As a result of the work, an improved method for testing abrasion resistance was proposed, which includes a new approach to sample preparation, which allows testing soles with deep corrugation, and recommendations on the test procedure, namely, changing the position of the samples every 2.5 minutes. The developed technique is easily reproducible in laboratory conditions and does not contradict the standard methodology.

Keywords: soles, current assortment, properties, wear resistance assessment, methodology, MI-2 device.

Article info: received September 20, 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

Защита стоп, обеспечение безопасности и комфорта ношения обуви наиболее актуальная задача проектирования и производства современной обуви. Она обеспечивает повышение производительности во время различных видов деятельности. Касаясь безопасности и производительности труда, важно, чтобы обувь обеспечивала эффективное сцепление с грунтом в любой ситуации (In-Ju Kim, 2016).

Целью исследования являлась разработка методики исследования современных подошвенных материалов, имеющих рифления различной глубины, по показателю сопротивления истиранию при скольжении.

Износ подошв, подметок, каблуков или набоек обуви проявляется в уменьшении их толщины. Изнашивание в этом случае сводится к последовательному механическому разрушению поверхностных слоёв вследствие относительного перемещения подошв по опорной поверхности. Главным фактором, непосредственно обуславливающим износ, является контакт низа обуви с опорной поверхностью.

Оценка комфорта – это важный критерий в разработке любого товара, особенно товара, который характеризуется многократным и длительным использованием, например, обувь. А одним из важнейших компонентов обуви является подошва, дизайн которой основан на многих факторах, таких как размер и форма (Pasquale Franciosa, Salvatore Gerbino, Antonio Lanzotti and Luca Silvestri, 2013).

Толщина подошвы определяет оригинальность обувной пары. Утолщённая подошва соответствует повседневной обуви, спортивному стилю или креативному образу. В последнее время среди молодых людей грубая обувь на объёмной подошве пользуется невероятным успехом (Е. Ванга, 2021). Обувь с так называемой «тракторной» подошвой впервые появилась в 70-е годы, когда популярность приобрели всевозможные неформальные молодёжные направления и течения. Оставили они свой отпечаток не только в культуре, но и в истории моды в виде таких новаторских на то время идей, как туфли и сапоги на толстой, внешне нарочито грубой, риф-

ленной платформе¹. Такая подошва – это один из модных трендов, который не теряет популярности уже несколько лет, свою популярность она получила в 2015 году и согласно интернет-источникам², является трендом сезона 2024/2025.

Непременным атрибутом такой подошвы является рифление. Оно может имитировать рельеф протекторов шин и иметь фигурные очертания, такие как зубцы, волны и др. Эти элементы могут быть массивными или мелкими, грубыми или изящными³. Расположение элементов на ходовой части подошв не регламентируется никакими стандартами. Приоритет при разработке рельефа отдаётся дизайнерским решениям и, как правило, выполняется без учёта фрикционного взаимодействия подошв с опорной поверхностью (В.А. Харина, 2022).

Условно, по высоте рифления, подошвы можно разделить на следующие группы (А.В. Подкопаева, Ю.С. Конарева, 2019):

- высокое (8–9 мм) правильно выбранное расположение рифов может обеспечить хорошее сцепление с загрязнённой поверхностью;
- среднее (4–7 мм) подходит для твёрдых грунтов, камней, лесных и горных троп в сухую погоду;
- низкое (1–3 мм) используется при носке обуви по жёстким твёрдым поверхностям и плохо держит сцепление на грязной поверхности;
- нулевое рифление представляет собой ложбинки между разными секциями подошв.

Несмотря на большое разнообразие материалов, и конструктивных особенностей (фасонов) обуви, её идентификационные признаки могут быть сведены в единую классификацию: групповые и индивидуальные признаки.

¹ Малярова Е., Обувь на тракторной подошве – с чем комбинировать и как выбрать, [Online], URL: <https://www.glamurnenko.ru/blog/obuv-na-traktornoj-podoshve/>, [дата обращения: 10.09.2024].

² ТОП-3 главных тренда зимы for women, [Online], URL: <https://www.marko.by/blog/zhenskaya-obuv/top-3-glavnykh-trendov-zimy/>, [дата обращения: 10.09.2024].

³ Лучшие модели туфель на тракторной подошве, яркие образы на их основе, [Online], URL: <https://obuv.expert/tufli/tufli-na-traktornoj-podoshve> [дата обращения: 10.09.2024].

К групповым признакам относят: конструкцию подошвы, фасон подошвы, фасон каблука, размер низа обуви и её частей, форму подошвы и её частей, общую характеристику поверхности подошвы и её частей и др.

К индивидуальным признакам, возникающим при изготовлении обуви, относят: дефекты, обусловленные случайными причинами, их форму и положение относительно срезов и деталей рельефных рисунков подошв (А.А. Байбарин, О.Ю. Локтионова, 2017).

Материал и средства исследований

Термоэластопласты обладают большой популярностью при производстве обуви. На крупнейших предприятиях Республики Беларусь около 50–60 % обуви производятся на подошвах из ТЭП (М. А. Козлова, А.Н. Радюк, К.О. Бужинская, 2022).

Образцы современных подошв мужского и женского ассортимента из монолитных термоэластопластов, применяемых на обувных предприятиях, представлены на рисунке 1. На рисунке также представлены схематичные

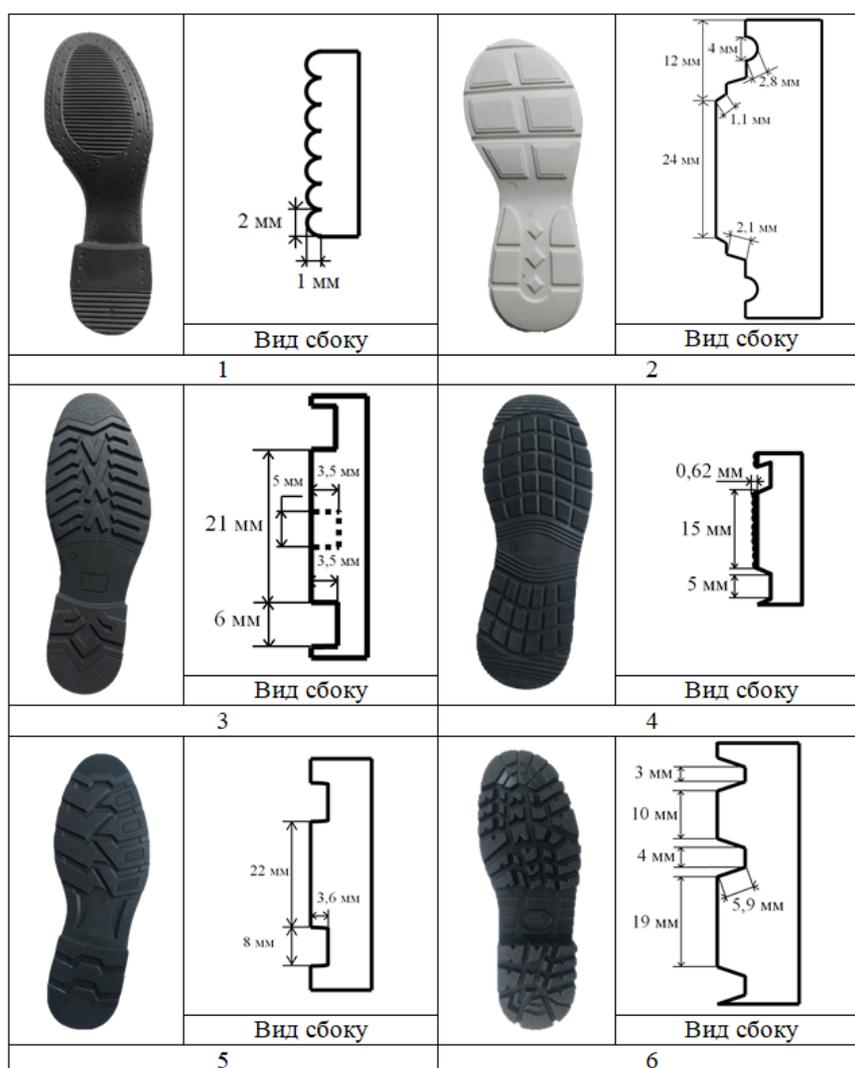


Рисунок 1 – Современный ассортимент подошв
Figure 1 – Current assortment of soles

фрагменты вида сбоку рифления пучковой зоны подошв с размерами.

Данные подошвы использовали при производстве обуви осенне-весеннего сезона 2023/2024, образцы 1, 2 для женского ассортимента, 3–6 – для мужского. Они отличаются друг от друга, имеют разную глубину рифления. Образцы 1 – коричневого цвета; 2 – бело-бежевого; 4 – черно-белого; 3, 5, 6 – чёрного цвета.

В данный момент нет рекомендаций в технических нормативных правовых актах (ТНПА), которые бы учитывали ассортиментное разнообразие подошвенных материалов по такому признаку, как состав, поэтому стандарты на методы испытаний и требования по физико-механическим испытаниям берутся на резины для низа обуви, как на наиболее близкого аналога.

Для испытаний были отобраны по 6 пар подошв и определены их физические свойства, представленные в таблице 1. Выбор данных свойств обусловлено тем, что они могут измеряться неразрушающим методом. По определённым показателям плотности можно с уверенностью сказать, что испытываемые образцы имеют монолитную структуру.

Согласно литературным источникам свойства монолитных термоэластопластов находятся в пределах 0,9–1,1 г/см³ по показателю плотность, по твёрдости в пределах 50–75 усл.ед.

Испытания подошв проводили по ГОСТ 7926-75 «Резина для низа обуви. Методы испытаний», который устанавливает методы испытаний для подошвенных пластин и деталей низа обуви. В текстовой части стандарта не учитывается современное разнообразие подошв, с точки зрения глубины рифления и устанавливает схему вырубki образцов для проведения физико-механических испытаний гладких и мелкоузорчатых (мелко рельеф-

ных) деталей для низа обуви.

Так для испытания подошв по показателю сопротивление истиранию стандарт устанавливает вырубку образцов из носочной и пяточной части в определённых местах (рисунок 2).

Основной проблемой испытания подошв можно считать то, что полимерные образцы, представленные для испытания на трение, не всегда имеют гладкую поверхность и однородную толщину или могут не подходить для испытания на заявленном оборудовании [D.I. James, R. Mohsen, 1982].

Сравнив рисунок 1 и 2 отметим, что далеко не все образцы можно раскроить по данной схеме, ввиду их сложного рельефного строения подошвы, учитывая то, что габаритные размеры образцов 28 на 20 мм.

Испытание по показателю сопротивление истиранию проводят по ГОСТ 426-77 «Резина. Метод определения сопротивления истиранию при скольжении». Сущность метода заключается в истирании образцов, прижатых к абразивной поверхности вращающегося диска, при постоянной нормальной силе и последующем определении показателей сопротивления истиранию [А.Н. Радюк, Е.А. Колальчук, А.Н. Буркин, 2022].

Для данного метода используются образцы Т-образной формы. В связи с тем, что образцы подобной конфигурации затруднительно вырезать, а из некоторых подошв и невозможно в виду: сложного рифления с ходовой и внутренней части подошв; малой общей толщины подошвы и др. Указанное выше привело к разработке нового подхода подготовки образцов к испытанию. Формованные подошвы имеют разную толщину на отдельных участках. В частности, в подошве для клеевого метода крепления толщина в передней части должна быть не менее 4,0–4,5 мм, геленочной части – 3,5 мм. Согласно

Таблица 1 – Физические свойства образцов подошв

Table 1 – Physical properties of the soles samples

№ образца	Плотность г/см ³	Твёрдость, усл.ед.
1	0,98–0,99	70–74
2	1,24–1,25	58–63
3	1,15–1,16	61–67
4	1,10–1,12	61–66
5	1,05–1,06	64–67
6	1,08–1,09	72–77

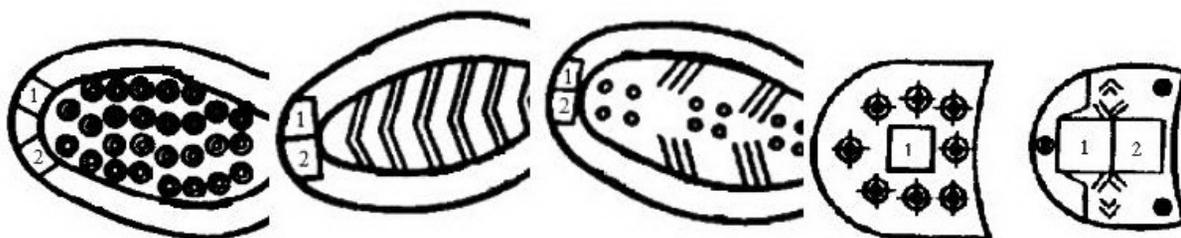


Рисунок 2 – Места для вырубki образцов
Figure 2 – Places for cutting samples

источнику (В.Х. Лиокумович, 1975) при наличии рисунка на ходовой стороне толщина подошвы может быть уменьшена, требованиям к высоте (толщине) рифления не представлены. Следовательно, имея рельеф высотой 2 мм, мы можем уменьшить толщину подошвы. Представления о процессе носки и влияния атмосферных условий говорят о том, что нельзя уменьшать основную толщину. Рельеф, размером 2 мм, достаточно быстро изнашивается в зонах повышенной нагрузки (в пучковой и пяточной части), а оставшаяся общая толщина примет на себя основную нагрузку, приводя к повышенному риску прокола и попадания влаги во внутреннее пространство обуви и ещё большему уменьшению толщины подошвы. Данные факторы приведут к разрушению обуви, как с внутренней части (падающая влага), так и с наружной части (сквозное протирание подошвы).

Особенность подготовки заключается в следующих этапах:

1. Вырубка образцов из подошв. Для этого использовался штанцевый резак или обувной нож для выкройки образца 20x20 мм из мест ходовой поверхности подошв, где это возможно (кроме геленочной части). Из каждой полупары вырубалось по три образца, согласно местам раскройки предлагаемой рисунком 2, симметрично вырезанным образцам из одной полупары, вырубались образцы из другой. Толщина испытуемых образцов была разной для каждой зоны (таблица 2). В этой и последующих таблицах приводятся средние значения показателей. Объем выборки составлял 12 образцов для каждого вида подошв.

Таблица 2 – Толщина испытуемых образцов

Table 2 – Thickness of the test samples

№ образца	Толщина, мм	Зона выкройки	№ образца	Толщина, мм	Зона выкройки
1	4,4	Носок	4	4,4	Пятка
	4,7	Носок		4,4	Пятка
	6,5	Пятка		6,0	Носок
2	4,7	Пятка	5	3,8	Носок
	4,5	Носок		3,9	Носок
	4,8	Пятка		5,2	Пятка
3	4,3	Носок	6	9,3	Носок
	4,1	Носок		8,7	Пятка
	5,3	Пятка		9,0	Пятка

Зоны выкройки в образцах не однообразны, это связано с разнообразием рельефа каждого конкретного образца.

Как видно из таблицы в большинстве случаев толщина носочной части меньше толщины пяточной части. Это связано с тем, что при ходьбе на пятку приходится наибольшая нагрузка. Для повышения износостойкости пяточной части и минимизации скольжения на ходовой стороне подошвы должен быть рисунок (рельеф). Исключениями являются образец 4, за счёт высокого рифления носочной части и образец 6, где толщина на всей длине практически одинаковая.

2. Подшлифовка полученных образцов для последующего склеивания. Данная операция необходима для получения равномерной шероховатой внутренней поверхности образца. Целесообразно оставить рабочую толщину образца не менее 5 мм. Подшлифовку можно проводить вручную, на испытательном оборудовании

(с помощью специального приспособления с ячейками для размещения образцов) или наждачном круге.

3. Вырубка и подготовка подложки для образца. Для этого использовался обувной стелечный картон толщиной от 1 до 2 мм и с помощью обувного ножа или ножниц вырезают образец 28x20 мм. В случае, если рабочая толщина меньше 5 мм, необходимо подобрать картонную подложку необходимой толщины размером 20x20 мм.

4. Склейка образцов. Если рабочая толщина образца менее 5 мм, первоначально склеивают образец с картоном 20x20 мм, подходящей толщины, используя клей полиуретановый и кисть с натуральной щетиной. Если толщина 5 и более миллиметров, то образец подшлифованной стороной приклеивают на картон размером 28 на 20 мм. Полученные образцы склеивают. Испытания образцов проводятся через сутки. Полученные варианты образцов представлены на рисунке 3.

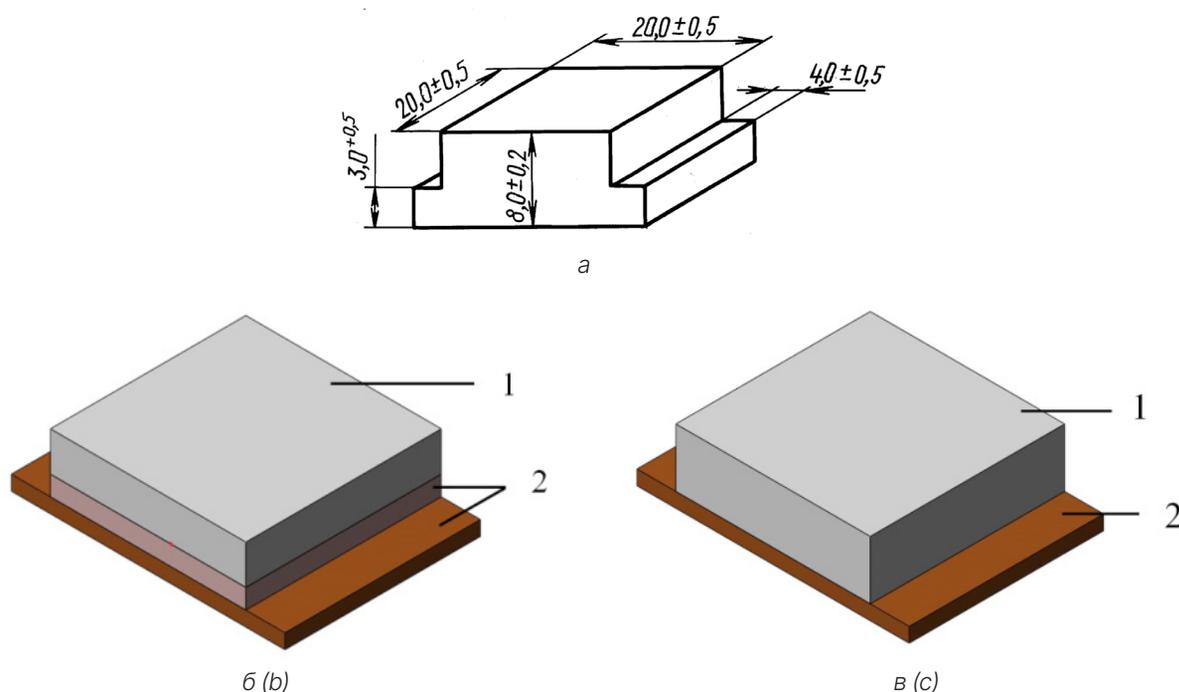


Рисунок 3 – Схемы образцов для испытания:

a – по ГОСТ 426-77; б – с рабочей толщиной менее 5 мм; в – с рабочей толщиной 5 и более мм;

1 – испытуемый образец; 2 – стелечный картон

Figure 3 – Diagrams of samples for testing:

a – according to GOST 426-77; b – with a working thickness of less than 5 mm;

c – with a working thickness of 5 mm or more; 1 – the test sample; 2 – shelve cardboard

5. Кондиционирование образцов проводится по ГОСТ 12423-2013 «Пластмассы. Условия кондиционирования и испытания образцов (проб)» при следующих условиях: температура воздуха – 23 °С, относительная влажность – 50 %.

Полученные образцы взвешивают. Необходимо отслеживать относительную влажность лабораторного помещения, так как её изменение может исказить результаты испытания: массу образцов. Влажность никак не повлияет на полимерный материал, но резкое изменение влажности окружающей среды, может повлиять на массу картонов, используемых при испытании.

Согласно ГОСТ 426-77 допускается дублирование образцов. Истираемая часть образцов должна выступать из рамок-держателя на $(3,5 \pm 0,5)$ мм. Количество испытываемых образцов должно быть не менее шести (три пары).

Испытания по показателю сопротивление истиранию при скольжении в странах СНГ в основном проводят на приборе МИ-2, схема прибора представлена на рисунке 4. Только для данного метода имеются нормируемые значения по износу полимеров, установленные в ГОСТ 10124-76 «Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви» и которые составляют не менее $2,5 \text{ Дж/мм}^3$.

На приборе МИ-2 два образца 5, закреплённые на рычаге 2, прижимаются к шлифовальному полотну 4,

прикрепленному к вращающемуся диску 3. Рычаг имеет ось 2, помещённую в полном валу диска 3. К шлифовальному полотну образцы прижимаются силой, создаваемой грузом 1, соединённым гибкой тягой с осью 2. На рычаге 6 подвешивается груз 7, уравновешивающий силу трения и удерживающий рычаг в горизонтальном положении [Б.Я. Краснов, 1988].

Согласно ГОСТ 426-77 материалом, истирающим резину, должна быть шлифовальная шкурка по ГОСТ 344 марки П2 44А КМ-1 с истирающей способностью $45-80 \text{ м}^3/\text{ТДж}$ ($160-300 \text{ см}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$). Согласно переводу зернистости шлифовального полотна по ГОСТ Р 52381-2005 «Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава» – современное обозначение необходимого шлифовального полотна Р 180. В связи с тем, что данная шлифовальная шкурка достаточно гибкая, во избежание её заломов во время испытания, было принято решение с помощью двухсторонней липкой ленты приклеивать на плотный картонный диск.

Испытания проводили при температуре помещения $(23 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$.

Шлифовальную шкурку закрепляют на диске прибора. Помещают два образца в рамки держателя и прикладывают к ним нормальную силу, равную 26 Н. Необходимо провести стабилизацию шкурки не менее

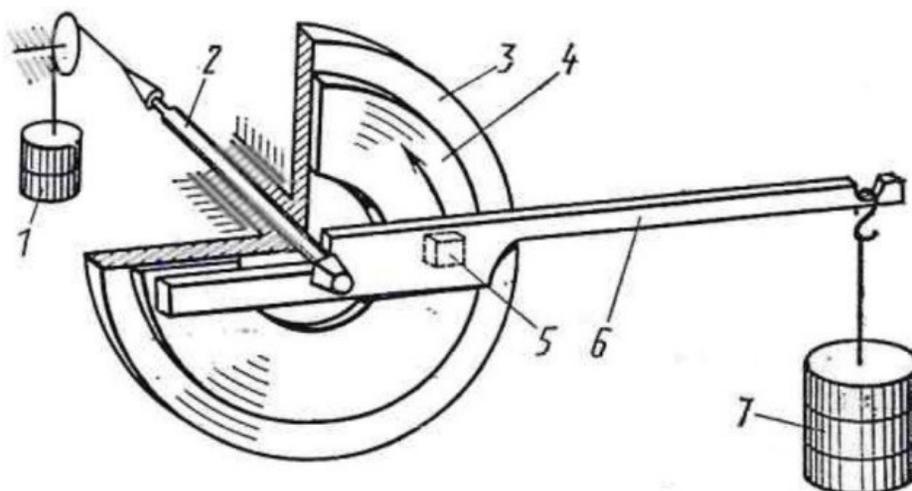


Рисунок 4 – Схема прибора МИ-2
Figure 4 – Diagram of the MI-2 device

15 минут и провести притирку образцов до появления износа на всей поверхности их контакта. Согласно ГОСТ 426-77 допускается совмещение процессов стабилизации шлифовальной шкурки и притирки образцов.

Притёртые образцы освобождают из рамок-держателей, очищают от бахромы и пыли и взвешивают на аналитических весах с погрешностью $\pm 0,01$ или $\pm 0,001$ г.

Притёртые образцы закрепляют в рамках-держателях и прикладывают к ним нормальную силу, равную 26 Н.

Результатом испытания является расчёт показателя сопротивления истиранию Дж/мм³ по формуле:

$$\beta = \frac{A}{\Delta V} \cdot K, \quad (1)$$

где **A** – работа трения в Дж; **K** – коэффициент, учитывающий истирающую способность шлифовальной шкурки; ΔV – убыль объёма резины в мм³, рассчитываемая по формуле:

$$\Delta V = \frac{10^9(m_1 - m_2)}{\rho}, \quad (2)$$

где **m₁** – масса двух образцов до испытания, кг; **m₂** – масса двух образцов после испытания, кг; **ρ** – плотность образца, кг/м³.

Согласно методике, изложенной выше, испытание образцов проводят непрерывно в течение 5 минут, закреплённых в держателях в том же положении, что и при притирке образцов. При таких испытаниях абразивные частицы, двигаясь по одной траектории, прорезают образец в одних и тех же местах, оставляя дугообразные полосы на образцах. Для более равномерного износа предложено через каждые 2,5 минуты менять образцы местами в рамках-держателях, тем самым изменяя и последующую траекторию резанья материала абразивом. Характер износа после 2,5 минут и после 5 минут представлен на рисунке 5.

Это позволит минимизировать возможную неравномерность испытания образцов, при котором абразивные частицы хаотично взаимодействуют с поверхностью подошв.

Результаты исследований

По представленной методике были проведены испытания, с измерением массы (в граммах) и толщины (в мм) полимерного образца каждые 2,5 минуты, предполагая, что в процессе испытаний изменяется только масса ТЭП. Результаты измерений представлены в таблице 3.

В результате статистической обработки экспериментальных данных установлена линейная зависимость

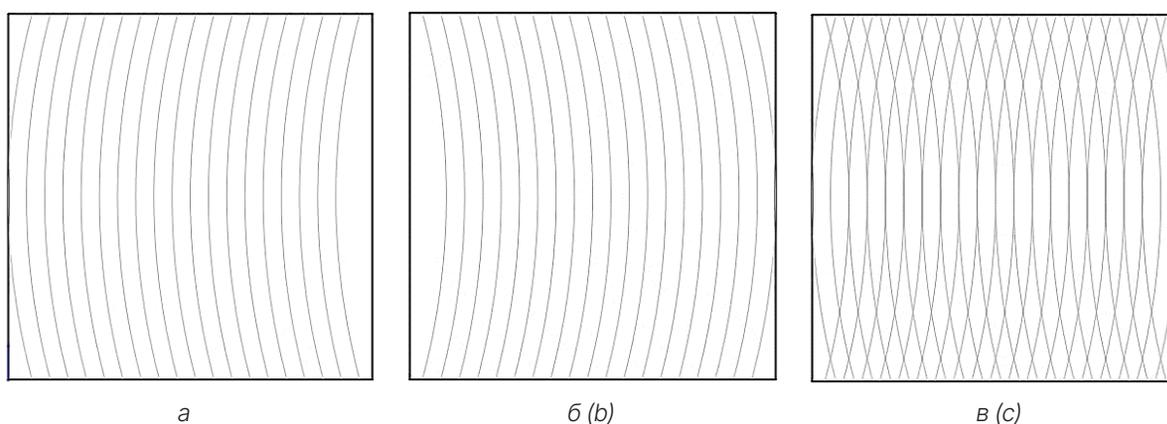


Рисунок 5 – Характер износа образцов:

a – образец с левой стороны после 2,5 минуты; б – образец с правой стороны после 2,5 минуты;

в – образцы после 5 минут испытания

Figure 5 – The wear pattern of the samples:

a – the sample on the left side after 2,5 minutes; b – the sample on the right side after 2,5 minutes;

c – the samples after 5 minutes of testing

с коэффициентами достоверности аппроксимации по массе 0,97–0,99, по толщине – 0,98–0,99. Обобщённые результаты испытания приведены в таблице 4.

Сопrotивление истиранию подошвы обуви зависит от геометрических параметров подошвы (A. Ishizako, T. Nishi, T. Yamaguchi, 2024), таких как направление, ширина, глубина канавок протектора (Mark G. Blanchette, and Christopher M. Powers, 2015), соотношение длины и ширины блоков протектора, видимая площадь контакта

и твёрдость блоков протектора, топография поверхности (T.Yamaguchi, T. Umetsu, Y. Ishizuka, K. Kasuga, T. Ito, Ishizawa S. and K. Hokkirigawa, 2012).

Анализ результатов

Во время испытания в течение 15 минут разрыв поверхности образцов не наблюдался. Все полученные данные удовлетворяют требованиям стандарта ГОСТ 10124-76 «Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви».

Таблица 3 – Кинетика износа во время испытания

Table 3 – Kinetics of wear during the test

№ образца	Начальные значения	Время, минуты								
		2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20	
1	масса, г	3,23	3,05	2,85	2,65	2,46	2,44	2,10	-	-
	толщина, мм	5,2	4,6	4,1	3,6	3,1	2,5	2,1	-	-
2	масса, г	3,33	3,15	2,95	2,78	2,60	2,44	2,26	-	-
	толщина, мм	4,4	4,0	3,6	3,3	2,8	2,5	2,1	-	-
3	масса, г	3,36	3,19	3,00	2,83	2,66	2,49	2,32	2,21	-
	толщина, мм	4,5	4,0	3,6	3,2	2,9	2,5	2,1	1,8	-
4	масса, г	3,06	2,85	2,69	2,50	2,36	2,17	2,03	1,88	-
	толщина, мм	4,9	4,2	3,7	3,2	2,8	2,5	2,1	1,7	-
5	масса, г	3,03	2,88	2,75	2,58	2,45	2,28	2,14	2,02	-
	толщина, мм	4,2	3,8	3,5	3,1	2,7	2,4	2,0	1,6	-
6	масса, г	4,21	4,02	3,74	3,68	3,50	3,31	3,14	2,96	2,78
	толщина, мм	9,1	8,4	7,9	7,3	6,8	6,3	5,9	5,5	4,9

Примечание: знак «-» обозначает разрушение одного образца из массива.

Таблица 4 – Результаты испытания по показателю сопротивление истиранию

Table 4 – Test results for abrasion resistance

Номер образца	Масса после притирки образцов, г	Масса после 5 минут испытания, г	Разность масс, г	Убыль объёма, мм ³	Сопrotивление истиранию, Дж/мм ³
1	2,85	2,10	0,75	762	2,86
2	2,95	2,26	0,69	554	3,88
3	3,00	2,32	0,68	587	3,63
4	2,69	2,03	0,66	594	3,62
5	2,75	2,14	0,61	585	3,68
6	3,86	3,14	0,73	672	3,19

В некоторых литературных источниках представлены зависимости износостойкости резины от физических свойств [Н.Д. Закатова, Е.Я. Михеева, 1966]. В таблице 5 приведена сводная таблица значений по следующим показателям: плотность, твёрдость, сопротивление истиранию. Проведена сортировка таблицы по показателю сопротивление истиранию от минимума к максимуму.

Как видно из таблицы, имеется зависимость (коэффициент корреляции 0,67) между показателями твёрдость и сопротивление истиранию, а между показателями сопротивление истиранию и плотностью такой взаимосвязи нет (коэффициент корреляции 0,03). Можно заметить, что образцы с малой плотностью и высокой твёрдостью имеют низкое сопротивление истиранию по сравнению с другими образцами и наоборот, образец с самой высокой плотностью и самими низкими показателями по твёрдости имеют более высокое значение по показателю сопротивление истиранию. В источнике [Н.Д. Закатова, Е.Я. Михеева, 1966] отмечено, что при одинаковой устойчивости к истиранию, резины с большей твёрдостью менее устойчивы к износу в эксплуатации.

Учитывая то, что в структуре ТЭП имеется эластомерная составляющая это позволит в дальнейшем оценивать её вклад при исследовании и прогнозировании ресурса подошв по схеме: «состав – свойства».

Выводы

Разработанная усовершенствованная методика позволяет испытывать современный ассортимент подошв, имеющих сложный и разнообразный рельеф. Проведена апробация данной методики и представлены данные, которые удовлетворяют и не противоречат требованию стандартов. По полученным результатам было установлено, что износ подошвенных материалов из ТЭП монолитной структуры подчиняется линейному закону.

В дальнейшем рекомендуется уменьшить размер образца, с изменением его конфигурации (например, круглые образцы диаметром 16 и 10 мм), что позволило бы более рационально использовать поверхность подошвы для испытаний. Рекомендуем также включать данные притирания в основное испытание, тем самым имитируя износ, протекающий при естественной носке обуви.

Таблица 5 – Сводная таблица

Table 5 – Summary table

Номер образца	Плотность, г/см ³	Твёрдость, усл. ед.	Сопротивление истиранию, Дж/мм ³
1	0,98–0,99	70–74	2,86
6	1,24–1,25	72–77	3,19
4	1,15–1,16	61–66	3,62
3	1,10–1,12	61–67	3,63
5	1,05–1,06	64–67	3,68
2	1,08–1,09	58–63	3,88

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ванга, Е. (2021), Виды подошвы для обуви и их характеристики, *Клуб тканей*, [Online], URL: <https://tkan.club/shoes/vidy-podoshvy-dlya-obuvi> (дата обращения: 10.09.2024).

Байбарин, А.А., Локтионова, О.Ю. (2017). Понятие следа, проблемные аспекты идентификации и сравнительного анализа следов подошв обуви, изъятых с осмотра места происшествий, *Известия Юго-западного государственного университета*, vol. 21, no. 4, pp. 189–205.

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

Козлова, М.А., Радюк, А.Н. и Бужинская, К.О. (2022). Анализ ассортимента полимерных подошвенных материалов на обувных предприятиях г. Витебска, *Материалы и технологии*, vol. 2 (10), pp. 21–25.

Краснов, Б.Я. (1988). *Материаловедение обувного и кожгалантерейного производства*. Москва: «Легпромбытиздат», СССР.

Лиюкумович, В.Х. (1975). *Конструирование обуви*. Москва: Легкая индустрия, СССР.

Подкопаева, А.В., Конарева, Ю.С. (2019). Анализ конструктивных особенностей подошв обуви для бега, *Инновационное развитие легкой и текстильной промышленности: сборник материалов Международной научной студенческой конференции*, vol. 1, pp. 13–17.

Радюк, А.Н., Ковальчук, Е.А. и Буркин, А.Н. (2022). *Материалы для подошв обуви на основе отходов производства*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Харина, В.А. (2022). Исследование фрикционных свойств ходовой поверхности подошв и повышение антискользких характеристик обуви, [Online], URL: <https://kosygin-rgu.ru/aspirantura/files/defence/HarinaVA/диссертация%20Харина%20В.А.pdf> (дата обращения: 10.09.2024).

Blanchette, Mark G. and Powers, Christopher M. (2015). The influence of footwear tread groove parameters on available friction, *Applied Ergonomics*, vol. 50, pp. 237–241.

Franciosa, Pasquale; Gerbino, Salvatore; Lanzotti, Antonio and Silvestri, Luca (2013). Improving comfort of shoe sole through experiments based on CAD-FEM modeling, *Medical Engineering & Physics*, vol. 35, no. 1, pp. 36–46.

Ishizako, A., Nishi, T. and Yamaguchi, T. (2024). High friction of rubber caused by negative fluid pressure under glycerol lubrication, *Tribology International*, vol. 192, pp. 109–213.

James, D.I., Mohsen, R. (1982). Friction: the importance of accurately specifying the method of sample preparation and the test conditions, *Polymer Testing*, vol. 3, no. 2, pp. 99–112.

Kim, In-Ju (2016). Identifying shoe wear mechanisms and associated tribological characteristics: Importance for slip resistance evaluation. *Wear*, vol. 360–361, pp. 77–86.

Yamaguchi, T., Umetsu, T., Ishizuka, Y., Kasuga, K., Ito, T., Ishizawa, S. and Hokkirigawa, K. (2012). Development of new footwear sole surface pattern for prevention of slip-related falls, *Safety Science*, vol. 50, no. 4, pp. 986–994.

REFERENCES

Wang, E. (2021). Types of shoe soles and their characteristics [Vidy podoshvy dlya obuvi i ih harakteristiki], *Klub tkaney = The Fabric Club* [Online], URL: <https://tkan.club/shoes/vidy-podoshvy-dlya-obuvi> (Accessed date: 10.09.2024) (In Russian).

Baibarin, A.A., Loktionova, O.Yu. (2017). The concept of a footprint, problematic aspects of identification and comparative analysis of shoe soles removed from the inspection of the scene of accidents [Ponyatie sleda, problemnye aspekty identifikatsii i sravnitel'nogo analiza sledov podoshv obuvi, iz'yatyh s osmotra mesta proisshestviy], *Izvestiya Yugo-zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwestern State University*, vol. 21, no. 4, pp. 189–205 (In Russian).

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

Kozlova, M.A., Radyuk, A.N. and Buzhinskaya, K.O. (2022). Analysis of the assortment of polymer plantar materials at shoe enterprises in Vitebsk [Analiz assortimenta polimernykh podoshvennykh materialov na obuvnykh predpriyatiyah g. Vitebska], *Materialy i tekhnologii = Materials and technologies*, vol. 2 (10), pp. 21–25 (In Russian).

Krasnov, B.Ya. (1988). *Materialovedenie obuvnogo i kozhgalantereynogo proizvodstva* [Materials science of shoe and leather goods production]. Moscow: Legprombytizdat, USSR (In Russian).

Liokumovich, V.H. (1975). *Konstruirovaniye obuvi* [Shoe design]. Moscow: Light Industry, USSR (In Russian).

Podkopaeva, A.V., Konareva, Yu.S. (2019). Analysis of the design features of running shoe soles [Analiz konstruktivnykh osobennostey podoshv obuvi dlya bega], *Innovacionnoe razvitie legkoj i tekstil'noj promyshlennosti: sbornik materialov Mezhdunarodnoj nauchnoj studencheskoj konferencii = Innovative development of the light and textile industry:*

collection of materials of the International Scientific Student Conference, vol. 1, pp. 13–17 [In Russian].

Radyuk, A.N., Koval'chuk, E.A. and Burkin, A.N. (2022). *Materialy dlya podoshv obuvi na osnove othodov proizvodstva* [Materials for shoe soles based on industrial waste]. Vitebsk: EE "VSTU", Republic of Belarus [In Russian].

Kharina, V.A. (2022). Investigation of friction properties of the running surface of soles and improvement of anti-slip characteristics of shoes [Issledovanie frikcionnyh svojstv hodovoj poverhnosti podoshv i povyshenie antiskol'zyashchih harakteristik obuvi], [Online], URL: <https://kosygin-rgu.ru/aspirantura/files/defence/HarinaVA/диссертация%20Харина%20В.А..pdf>. (Accessed: 10.09.2024) [In Russian].

Blanchette, Mark G. and Powers, Christopher M. (2015). The influence of footwear tread groove parameters on available friction, *Applied Ergonomics*, vol. 50, pp. 237–241.

Franciosa, Pasquale; Gerbino, Salvatore; Lanzotti, Antonio and Silvestri, Luca (2013). Improving comfort of shoe sole through experiments based on CAD-FEM modeling, *Medical Engineering & Physics*, vol. 35, no. 1, pp. 36–46.

Ishizako, A., Nishi, T. and Yamaguchi, T. (2024). High friction of rubber caused by negative fluid pressure under glycerol lubrication, *Tribology International*, vol. 192, pp. 109–213.

James, D.I., Mohsen, R. (1982). Friction: the importance of accurately specifying the method of sample preparation and the test conditions, *Polymer Testing*, vol. 3, no. 2, pp. 99–112.

Kim, In-Ju (2016). Identifying shoe wear mechanisms and associated tribological characteristics: Importance for slip resistance evaluation. *Wear*, vol. 360–361, pp. 77–86.

Yamaguchi, T., Umetsu, T., Ishizuka, Y., Kasuga, K., Ito, T., Ishizawa, S. and Hokkirigawa, K. (2012). Development of new footwear sole surface pattern for prevention of slip-related falls, *Safety Science*, vol. 50, no. 4, pp. 986–994.

Информация об авторах

Information about the authors

Буркин Александр Николаевич

Доктор технических наук, профессор кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: a.burkin@tut.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

Нейфельд Мария Александровна

Аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: mneufeld8@yandex.by

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

Влияние внешних факторов на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием**Ю. И. Марущак,
Н. Н. Ясинская***Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Качество тканей с пористым полиуретановым покрытием проявляется через потребительские свойства, поэтому представляет практический интерес изучения влияния различных условий эксплуатации (внешних факторов) на эти свойства. Авторами разработана и внедрена технология, а также выпущены опытные партии тканей с пористым полиуретановым покрытием, предназначенные для изготовления одежды второго и третьего слоев. Информация об устойчивости таких материалов к внешним воздействиям отсутствует, что обосновывает актуальность проведенных исследований в данной работе. Цель работы – установить влияние наиболее значимых внешних факторов (истирание, действие пониженных и повышенных температур) на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием одежного назначения. Проведение данных исследований необходимо для надёжной эксплуатации изделий. Полученные результаты позволят осуществлять конфекционирование материалов для одежды с учетом условий эксплуатации изделия.

В статье приведены результаты исследования влияния истирания на целостность полимерного покрытия, изучена слипаемость полимерного слоя материала под действием повышенной температуры, а также отражено действие пониженных и повышенных температур на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием одежного назначения. По результатам исследований установлено, что исследуемый материал не подвержен слипанию под действием повышенных температур, образцы выдерживают до 500 циклов истирания (в зависимости от толщины вспененного полиуретанового слоя). Исследовано влияние пониженных ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), и повышенных температур ($+35\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$) на следующие показатели: разрывная нагрузка и разрывное удлинение, паро- и воздухопроницаемость, устойчивость полимерного покрытия к истиранию. Температуры выбраны с учетом условий окружающей среды, а также с учетом научных работ авторов, занимающихся исследованиями в аналогичных областях. Температура $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ выбрана с учетом возможного в условиях эксплуатации нагрева, например, в салоне автомобиля в летнее время года или нагрева при влажно-тепловой обработке. Воздействие пониженной ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) и повышенной температуры ($+35\text{ }^{\circ}\text{C}$) не оказывает существенного влияния на устойчивость лицевого слоя к истиранию. После выдерживания образцов при температуре $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит снижение количества циклов, которые выдерживает образец до начала разрушения полимерного покрытия. Белорусские ткани с пористым полиуретановым покрытием выдерживают температуры от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$, сохраняя при этом показатели паро- и воздухопроницаемости, разрывной нагрузки и разрывного удлинения в пределах рекомендуемых значений. Исследуемые материалы, производимые по современной технологии, имитируют натуральную кожу, не уступают по качеству зарубежным аналогам и могут стать доступной альтернативой натуральной коже при изготовлении изделий легкой промышленности.

Ключевые слова: пористый полиуретан, устойчивость к истиранию, слипаемость, воздухопроницаемость, паропроницаемость, повышенные температуры, пониженные температуры.

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).

Influence of external factors on the quality indicators of fabrics with porous polyurethane coating

Yulia I. Maruschak, *Vitebsk State Technological University,*
Natalia N. Yasinskaya *Republic of Belarus*

Abstract. The quality of fabrics with a porous polyurethane coating is manifested through consumer properties, and therefore it is of practical interest to study the influence of various operating conditions (external factors) on these properties. The authors have developed and implemented a technology and also released pilot batches of fabrics with a porous polyurethane coating intended for the manufacture of second- and third-layer clothing. However, there is no information on the resistance of such materials to external influences, which justifies the relevance of the studies conducted in this work. The purpose of the work is to determine the influence of the most significant external factors (abrasion, the effect of low and high temperatures) on the quality indicators of fabrics with a porous polyurethane coating for clothing purposes. Conducting these studies is essential for ensuring the reliable operation of products. The results obtained will allow the confection of materials for clothing, taking into account the operating conditions of the product.

The article presents the results of a study of the effect of abrasion on the integrity of the polymer coating, examines the adhesion of the polymer layer of the material under the influence of elevated temperatures, and investigates the effect of low and high temperatures on the quality indicators of fabrics with a porous polyurethane coating for clothing purposes. The results of the studies showed that the material under study is not subject to sticking under the influence of elevated temperatures; the samples can withstand up to 500 abrasion cycles (depending on the thickness of the foamed polyurethane layer). The effect of low (-20 °C) and high temperatures (+35 °C, +70 °C) on the following parameters was studied: breaking load and breaking elongation, vapor and air permeability, and abrasion resistance of the polymer coating. The temperatures were selected taking into account environmental conditions, as well as the scientific works of the authors engaged in research in similar areas. The temperature of +70 °C was selected taking into account possible heating under operating conditions, for example, in a car interior in the summer or heating during wet-heat treatment. Low (-20 °C) and high (+35 °C) temperatures do not significantly affect the abrasion resistance of the face layer. After keeping the samples at a temperature of +70 °C, the number of cycles that the sample can withstand before the polymer coating begins to deteriorate decreases. Manufactured in Belarus fabrics with a porous polyurethane coating can withstand temperatures from -20 °C to +70 °C, while maintaining the indicators of vapor and air permeability, breaking load and breaking elongation within the recommended values. The studied materials, produced using modern technology, imitate natural leather, are not inferior in quality to foreign analogues and can become an affordable alternative to natural leather in the manufacture of light industry products.

Keywords: porous polyurethane, abrasion resistance, sticking, air permeability, vapor permeability, high temperatures, lower temperatures.

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

Одним из наиболее часто применяемых полимерно-текстильных материалов в легкой промышленности, используемых при пошиве изделий, является искусственная кожа [Вишневецкая, 2016]. Такие материалы

имеют определенные преимущества по сравнению с натуральными кожами: позволяют обеспечить более низкую массу изделия; удешевить процесс производства; разнообразить внешний вид изделий за счет фактур, имитирующих различную меру натуральных

кож; обеспечить хорошие функциональные характеристики (Гаврилова и Никитина, 2014; Кудринский и Тюрин, 2022; Meyer M. et al., 2021). При рассмотрении вопроса о возможности использования искусственных кож для изготовления каких-либо изделий существенную роль играют их гигиенические свойства. Особенно важно, чтобы ими обладали материалы, непосредственно соприкасающиеся с телом человека. Однако большинство выпускаемых искусственных кож обладают низкими гигиеническими свойствами, так как на поверхности образуется сплошная полимерная пленка, делающая материал непроницаемым (Ясинская, Марущак, Скобова, 2024). В настоящее время технологии производства совершенствуются и популярность приобретают натуральные хлопчатобумажные ткани с пористым полиуретановым покрытием одежного назначения (экокожи), напоминающие по своему виду натуральную кожу, обладающие лучшими показателями паро- и воздухопроницаемости в сравнении с искусственными кожами такого же назначения (Марущак и Ясинская, 2024).

Ткани с пористым полиуретановым покрытием и изделия из них подвержены естественному старению, но также влияние на качество оказывают внешние факторы, действие которых приводит к изменению исходных характеристик материала. Происходит это в процессе изготовления изделий, при транспортировке и хранении, во время эксплуатации и при стирке.

Причины износа или внешние влияющие факторы разделяют на следующие группы: механические – многократные деформации растяжения, изгиба, трения (стирание); физико-химические – действие света, температуры, влаги, химических веществ, содержащихся в атмосфере, в поте, в моющих жидкостях и чистящих средствах; биологические – разрушение микроорганизмами и повреждение насекомыми; комплексные – действие погоды, стирки, химической чистки, носки (Агеева, 2021). Виды факторов, их количество и характер взаимодействия зависят от вида изделия и условий его эксплуатации (Агеева, 2021). Значимость факторов внутри группы различна и среди них всегда можно выделить два – три, определяющих износ. Воздействие перечисленных факторов вызывают изменения в структуре текстильного материала, что приводит в дальнейшем к его ускоренной деструкции. В результате изнашивания материала изделие становится непригодным для дальнейшей эксплуатации.

Качество текстильных материалов, прежде всего, проявляется через потребительские свойства, поэтому практический интерес представляет изучение влияния условий эксплуатации на эти свойства (Марущак, Ясинская, Петюль, 2023). Цель работы – установить влияние наиболее значимых внешних факторов (стирание, действие пониженных и повышенных температур) на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием одежного назначения. Проведение данных исследований необходимо для надёжной эксплуатации изделий из материалов белорусского производства. Полученные результаты позволят осуществлять конфекционирование материалов для одежды с учетом условий эксплуатации изделия.

Объект и методы исследования

В качестве объектов исследования выбраны образцы опытно-промышленной партии тканей с пористым полиуретановым покрытием (ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение») различной поверхностной плотности и толщины, предназначенные для пошива одежды второго и третьего слоев. Технология производства исследуемого материала разработана авторами и представителями предприятия. Образцы представляют собой композит, образованный сочетанием двух слоев. В качестве основы использовали хлопчатобумажную ткань саржевого переплетения. Лицевой слой представляет собой пористый полиуретан. Благодаря своей молекулярной структуре полиуретан обладает как прочностью, так и эластичностью, что является уникальным свойством. Полиуретановые композиции, в отличие от винила, не требуют добавления пластификаторов, ткань с таким полимером не трескается под действием пониженных температур, не подвержена слипанию под действием повышенных температур, а остается мягкой и эластичной в течение всего времени эксплуатации (Huantian C. et al., 2013). Характеристика образцов представлена в таблице 1.

Свойства материала определяли в соответствии со стандартными методиками. Устойчивость к стиранию проводили на приборе ДИТ-М. В качестве абразива использовали серошинельное сукно. Испытывали ткани с покрытием при скорости вращения головки прибора 100 об/мин. За результат измерения принимали число циклов вращения головки прибора, при котором произошло визуально регистрируемое разрушение полимерного слоя образца. Для оценки слипаемости тканей с полимерным покрытием под действием тем-

Таблица 1 – Характеристика образцов

Table 1 – Characteristics of samples

Шифр образца	№ 1Ч	№ 2Г	№ 3С	№ 4Р	№ 5Ч
Толщина PU покрытия, мм	1,1	0,6	0,22	0,4	0,7
Толщина материала, мм	1,35	0,88	0,47	0,7	1,1
Поверхностная плотность г/м ²	440	340	230	300	390

ператур руководствовались ГОСТ Р 5978 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием. Метод определения устойчивости к слипанию». Разрывную нагрузку и разрывное удлинение определяли в соответствии с ГОСТ ISO 1421 «Материалы с резиновым или пластмассовым покрытием. Определение разрывной нагрузки и удлинения при разрыве». Для исследования паропрооницаемости материалов был выбран гравиметрический метод, реализованный с помощью анализатора влажности «Radwag» М-50. За основу взята методика, отраженная в ГОСТ 22900-78 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения паропрооницаемости и влагопоглощения» и рекомендации разработчика прибора. Температуру в камере прибора контролировали в течение всего опыта (40 °С). Время термостатирования – 30 минут, время испытания – 1 час [Марущак и Ясинская, 2024]. Коэффициент паропрооницаемости определяли расчетным методом как отношение массы водяных паров, прошедших через пробу материала, к площади образца материала и времени испытания. Гигиенический показатель «воздухопроницаемость» полученного материала имеет диапазон изменения, близкий к плотным текстильным материалам (плащевые и курточные

ткани) при определении по методике по ГОСТ 12088-77 «Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости». Для исследования воздухопроницаемости руководствовались данным ГОСТ

В таблице 2 представлены нормируемые и рекомендуемые значения физико-механических и гигиенических свойств искусственных кож и материалов одежного назначения для второго слоя. В качестве нормативных документов выбраны: ТР ТС 017/2011 «О безопасности продукции легкой промышленности», ГОСТ Р 55303 «Одежда верхняя из плащевых и дублированных материалов, искусственной кожи и замши. Общие технические условия», ГОСТ 28461 «Кожа искусственная одежная. Общие технические условия».

Для оценки качества тканей с пористым полиуретановым покрытием и изучения их устойчивости к изменяющимся условиям окружающей среды подготавливали образцы в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.

Температуры выбраны с учетом условий окружающей среды, а также с учетом научных работ авторов, занимающихся исследованиями в аналогичных областях

Таблица 2 – Нормируемые и рекомендуемые значения физико-механических и гигиенических свойств

Table 2 – Standardized and recommended values of physical, mechanical and hygienic properties

Наименование показателя	ТР ТС 017	ГОСТ Р 55303* для взрослых	ГОСТ 28461* для вида В	Литература (Бацукова и др., 2020)
Разрывная нагрузка, Н основа/уток, не менее	-	-	150/100	-
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с, не менее	60	60	-	30 (30-50)
Коэффициент паропрооницаемости, мг/см ² ·ч	-	-	-	3,5-4

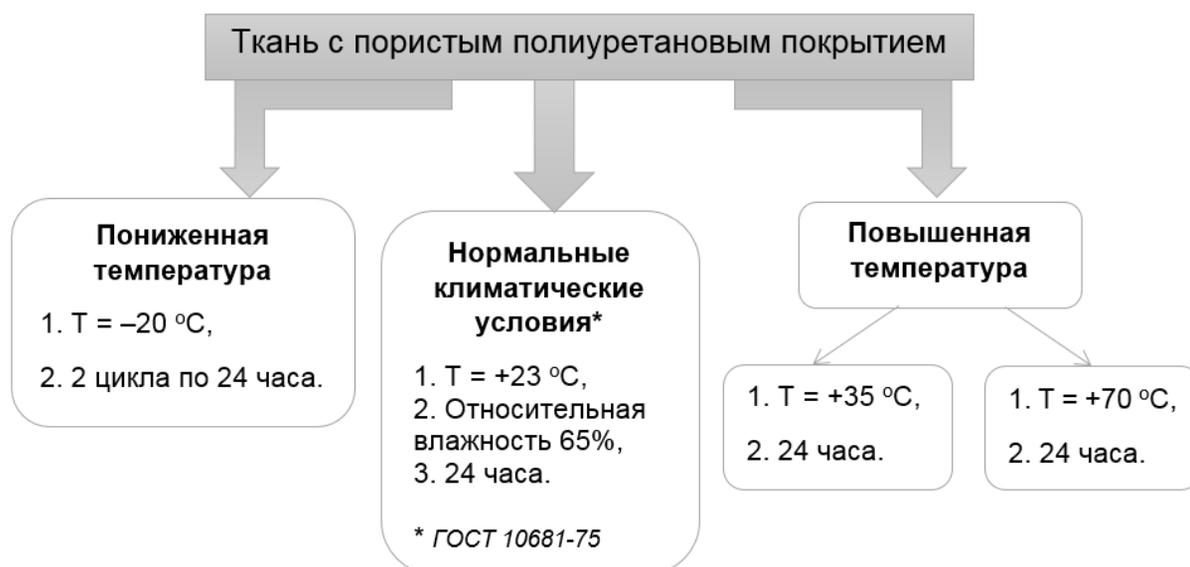


Рисунок 1 – Схема подготовки образцов
Figure 1 – Sample preparation scheme

[Бесшапошникова, Климова, Ковалева, 2018; Парвицкая и др., 2019; Suduo X., Yan F., Guojun S., 2022; Sureshkumar P.S., et al., 2012]. Температура +70 °C выбрана с учетом возможного в условиях эксплуатации нагрева, например, в салоне автомобиля в летнее время года или нагрева при влажно-тепловой обработке. Подготовленные образцы исследовали по показателям: устойчивость к истиранию, паро- и воздухопроницаемость, разрывная нагрузка и удлинение.

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Анализ литературных источников показал, что большая доля механического износа приходится на истирание, меньшая – на многократные деформации растяжения и изгиба [Бекашева, 2015; Zhang, Y. и Zhang, Q., 2012]. Истирание происходит вследствие внешнего трения текстильного материала о другие поверхности, которое сопровождается постепенным осыпанием полимерного покрытия, и, как следствие, разрушением материала. По результатам исследования установлено, что образец № 14 выдерживает 497 циклов до начала разрушения, образец № 2Г – 402, образец № 3С – 327, образец № 4Р – 335, образец № 5Ч – 529. По получен-

ным данным подтвердилось предположение, что с увеличением толщины полимерного покрытия количество циклов, которое выдерживает образец при истирании, увеличивается. Наиболее устойчивыми к истиранию являются образцы № 14 и № 5Ч с наибольшей толщиной пористого полиуретанового покрытия 1,1 мм и 0,7 мм соответственно.

Для оценки слипаемости полимерных покрытий испытываемых образцов под действием температур подготовлены квадратные образцы со стороной 150 мм. Образцы располагали лицевой стороной к лицевой. Под действием груза 5 кг образцы выдерживали в печи в течение 3 часов при температуре (70±2) °C. По результатам исследования слипаемости образцов установлено: образцы № 3С, 4Р – 1 балл («отсутствие слипания»: полимерные покрытия разделяются без каких-либо признаков слипания), образцы № 14, 2Г, 5Ч – 2 балла («незначительное слипание»: при разделении имеет место отдельное слипание полимерных покрытий без разрушения покрытия).

На рисунке 2 представлены диаграммы, отражающие результаты измерения устойчивости к истиранию исследуемых образцов при пониженной температуре

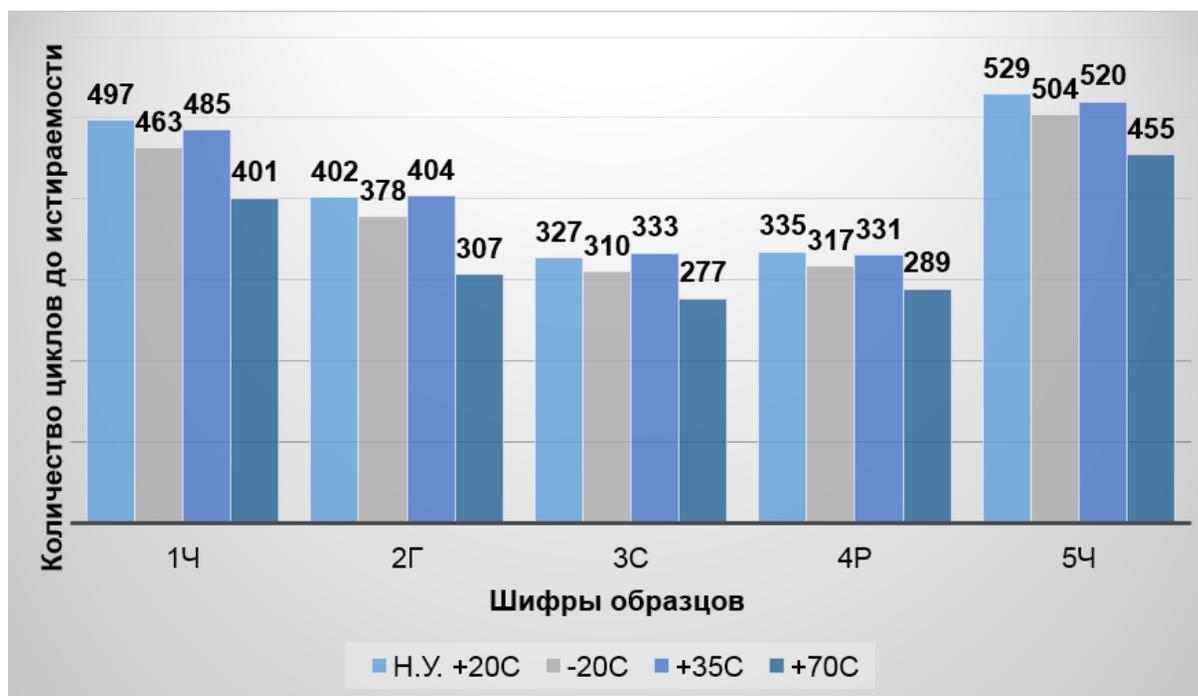


Рисунок 2 – Диаграммы изменения устойчивости к истиранию
Figure 2 – Diagrams of changes in abrasion resistance

(-20 °С) и повышенных (+35 °С, +70 °С).

Воздействие пониженной температуры (-20 °С) и повышенной температуры (+35 °С) не оказывает существенного влияния на устойчивость лицевого слоя к истиранию, что видно по диаграмме, представленной на рисунке 2. После выдерживания образцов при температуре +70 °С происходит снижение количества циклов, которые выдерживает ткань с покрытием до начала разрушения полимерного слоя. В процентном выражении для каждого из образцов в среднем это составило: при -20 °С падение показателя на 6 %, при +35 °С падение не превышает 2 %, а при +70 °С составило от 14 до 24 %.

В таблице 3 представлены результаты исследований влияния пониженной и повышенных температур на разрывную нагрузку и удлинение, а также на показатели паро- и воздухопроницаемости опытных образцов.

Анализируя данные, представленные в таблице 3, можно сделать вывод, что образцы, имеющие толщину всего материала в диапазоне 0,7–1,1 мм (№ 2Г, № 4Р, № 5Ч) обладают наилучшими показателями паро- и

воздухопроницаемости. Снижение толщины материала до 0,47 мм (образец № 3С) и увеличение до 1,35 мм (образец № 1Ч) влечет за собой незначительное снижение коэффициента паропроницаемости и падение воздухопроницаемости на 40–50 %. Повышение температуры до +35 °С не оказывает существенного влияния на свойства тканей с покрытием, значения показателей находятся в рекомендуемых границах. Нагрев образцов до +70 °С оказывает влияние на изменение прочности как в основном, так и в уточном направлениях. Прочность тканей снижается в среднем на 16 % по сравнению с их прочностью при нормальных условиях. Также снижаются значения показателей паро- и воздухопроницаемости. После воздействия повышенной температуры на образец № 5Ч воздухопроницаемость снижается до 29,6 дм³/м²·с, что ниже рекомендуемого значения 30–50 дм³/м²·с [Бацукова и др., 2020]. После выдерживания образцов в условиях пониженных температур значения разрывной нагрузки и разрывного удлинения, а также паро- и воздухопроницаемость снижаются.

Таблица 3 – Результаты исследований влияния пониженной и повышенных температур на качество тканей с полиуретановым покрытием

Table 3 – Results of studies of the effect of low and high temperatures on the quality of fabrics with polyurethane coating

Показатель	Значения показателей				
	№ 1Ч	№ 2Г	№ 3С	№ 4Р	№ 5Ч
Разрывная нагрузка, Н основа/уток					
+23 °С	770/619	1253/788	1213/759	662/358	568/441
-20 °С	707/512	1068/687	1117/659	601/312	526/419
+35 °С	745/565	1206/745	1152/678	635/334	548/426
+70 °С	676/504	997/657	1048/604	598/305	501/403
Разрывное удлинение, % основа/уток					
+23 °С	11,5/25,5	18/25,5	16,5/23,5	21/31	24/29
-20 °С	10,9/25	17,9/24,4	16,2/23,3	20,5/30,9	23,8/27,8
+35 °С	9,9/23,5	16,7/23,5	14,3/21,6	19,7/29	23,5/28,1
+70 °С	7,8/22,7	13,4/19	12,8/20,5	18,3/17,9	21,1/26,9
Воздухопроницаемость, дм ³ /м ² ·с					
+23 °С	32,4	43,9	38,7	62,4	64,7
-20 °С	30,1	40,1	35,5	59,7	61,3
+35 °С	31,5	41,7	36,3	60,8	62,4
+70 °С	29,6	34,4	35,1	58,9	56,5
Коэффициент паропроницаемости, мг/см ² ·ч					
+23 °С	13,4	15,4	14,7	16,5	16
-20 °С	13,5	15,3	14,6	16,4	16,1
+35 °С	13,3	15,2	14,7	16,3	16,1
+70 °С	13,2	14,7	13,8	16,0	15,8

Уменьшение гигиенических показателей не превышает 5 %, что является не значительным изменением. Снижение значений разрывной нагрузки и удлинения обусловлено тем, что высокая подвижность молекулярных сегментов в полимере является условием каучукоподобного состояния, т. е. высокого упругого удлинения. С понижением температуры движения сегментов уменьшаются. В среднем падение разрывной нагрузки составило 11 %, а падение разрывного удлинения – 4 %.

Научная новизна исследований состоит в получении новых сведений об устойчивости белорусских тканей с пористым полиуретановым покрытием к внешним воздействиям (истирание, повышенные и пониженные температуры).

Выводы

В результате проведенных исследований установлено влияние истирания, пониженных и повышенных температур на качественные показатели тканей с пористым полиуретановым покрытием, а также изучена устойчивость их полимерных покрытий к слипанию под действием повышенных температур. По результатам установлено, что наиболее устойчивыми к истиранию являются образцы № 1Ч и № 5Ч с наибольшей толщиной пористого полиуретанового покрытия 1,1 мм и 0,7 мм, которые выдерживают 497 и 529 циклов истирания соответственно. Ткани с пористым полиуретановым покрытием устойчивы к слипанию под действием повышенных температур, поскольку ни один из образцов не показал отрицательный результат 3 балла («слипание»:

поверхности трудно разделить, в процессе разделения покрытие целиком или частично удаляется]. Воздействие пониженной температуры (-20 °С) и повышенной температуры (+35 °С) не оказывает влияния на устойчивость лицевого слоя к истиранию. При воздействии температуры +70 °С происходит снижение количества циклов (до 24 %), которые выдерживает образец до начала разрушения полимерного покрытия. Нагрев образцов до +70 °С оказывает влияние на изменение прочности как в основном, так и в уточном направлениях. Также снижаются значения показателей паро- и воздухопроницаемости. Температуры по-разному влияют на разрывную нагрузку и разрывное удлинение, а также на воздухо- и паропроницаемость, оказывая более или менее негативное воздействие. В условиях пониженных температур значения разрывной нагрузки и разрывного удлинения, а также паро- и воздухопроницаемость тканей с полиуретановым покрытием снижаются незначительно, что вероятнее всего является погрешностью измерения.

В соответствии с требованиями технического регламента ТР ТС 017/2011 образцы № 5Ч и № 4Р соответствуют нормируемым значениям воздухопроницаемости и

могут быть использованы при пошиве одежды второго слоя без подкладки. Образцы № 2Г, № 3С и № 5Ч рекомендуется использовать с подкладкой для изделий второго слоя, а также они могут быть применены при изготовлении одежды третьего слоя. Все исследуемые образцы являются достаточно паропроницаемы, поскольку числовые значения коэффициента паропроницаемости входят в диапазон рекомендуемых значений для материалов одежного назначения. Рекомендуется минимизировать воздействие высоких температур (+70 °С) и использование материала в деталях одежды, где происходит режущее воздействие (например, в качестве ремней на платьях из данного материала), тогда изделие из материала прослужит дольше.

Можно сделать вывод, что опытные образцы тканей с пористым полиуретановым покрытием хорошо выдерживают пониженные и повышенные температуры от -20 °С до +70 °С, физико-механические и гигиенические показатели находятся в рекомендуемом диапазоне для материалов одежного назначения (таблица 2), что делает возможным применение материала в различных климатических условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Агеева, Е.А. (2021). Износостойкость текстильных материалов. Факторы и критерии износа. *Сборник статей Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции*, Уфа, с. 11–12.

Бацукова, Н.Л. (2020). *Гигиенические требования к одежде и обуви*. Минск: БГМУ, Республика Беларусь.

Бекашева, А.С. (2015). Характеристики и свойства экокожи – материала, имитирующего натуральную кожу. *Вестник технологического университета*, № 16, с. 134–136.

Бесшапошникова, В.И., Климова, В.И. и Ковалева, Н.А. (2018). Исследование влияния низких температур на структуру и свойства мембранных тканей для одежды. *Theoretical Applied science*, № 11, с. 54–61.

Вишневская, О.В. (2016). Современные методы нанесения покрытия на текстиль. *Вестник технологического университета*, № 18, с. 69–72.

Гаврилова, О.Е., Никитина, Л.Л. (2014). Применение перспективных полимерных материалов в легкой промышленности для повышения качества изделий. *Вестник Казанского технологического университета*, № 14, с. 96–99.

Кудринский, С.В., Тюрин, И.Н. (2022). Исследование свойств и определение состава экоматериалов на основе растительной кожи. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 399, с. 81–85.

Марущак, Ю.И., Ясинская, Н.Н. и Петюль, И.А. (2023). Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств экокожи. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 404, с. 103–111.

Марущак, Ю.И., Ясинская, Н.Н. (2024). Сравнительная оценка эргономических свойств тканей с полиуретановым покрытием. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2 (48), с. 9–17.

Парвицкая, Д.Т., Шустов, Ю.С., Буланов, Я.И. и Курденкова, А.В. (2019). Исследование механических свойств тканей с мембранным покрытием после воздействия пониженной температуры. *Наука и образование сегодня*, № 6 (41),

Часть 1, с. 19–22.

Ясинская, Н.Н., Марущак, Ю.И. и Скобова, Н.В. (2024). Влияние кратности вспенивания полиуретановой композиции и толщины нанесенного слоя на потребительские свойства искусственных кож. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2 (410), с. 225–232.

Huantian, C., Richard, W., Emma, S. and Quan, D. (2013). Evaluating Mechanical Properties of Environmentally Friendly Leather Substitute (Eco-Leather). *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings*, 70(1), pp. 8–9.

Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H. and Mondschein, A. (2021). Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. *Coatings*, № 11(2):226, pp. 1–15.

Suduo, Xue, Yan, Fei and Guojun, Sun (2022). Mechanical properties of coated fabric membranes at high temperature. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, № 17(22), pp. 1–12.

Sureshkumar, P.S., Thanikaivelan, P., Phebe, K., Krishnaraj, K., Jagadeeswaran, R. and Chandrasekaran, B. (2012). Investigations on structural, mechanical, and thermal properties of pineapple leaf fiber-based fabrics and cow softy leathers: An approach toward making amalgamated leather products. *Journal Nat. Fibers*, № 9, pp. 37–50.

Zhang, Y., Zhang, Q. (2012). Mechanical properties of polyvinylchloride-coated fabrics processed with Preconstraint (R) technology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, № 31(23), pp. 1670–1684.

REFERENCES

Ageeva, E.A. (2021). Wear resistance of textile materials. Wear factors and criteria [Iznosostojkost' tekstil'nyh materialov. Faktory i kriterii iznosa]. *Collection of articles of the National (All-Russian) scientific and practical conference*, Ufa, pp. 11–12.

Batsukova, N.L. (2020). *Gigienicheskie trebovaniya k odezhde i obuvi* [Hygienic requirements for clothing and footwear]. Minsk: BSMU, Belarus.

Bekasheva, A.S. (2015). Characteristics and properties of eco-leather – a material that imitates natural leather [Harakteristiki i svojstva ekokozhi – materiala, imitiruyushchego natural'nuyu kozhu]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Technological University*, no. 16. pp. 134–136 [in Russian].

Besshaposnikova, V.I., Klimova, V.I. and Kovaleva, N.A. (2018). Study of the influence of low temperatures on the structure and properties of membrane fabrics for clothing [Issledovanie vliyaniya nizkih temperatur na strukturu i svojstva membrannyh tkanej dlya odezhdy]. *Theoretical Applied science*, no. 11, pp. 54–61.

Vishnevskaya, O.V. (2016). Modern methods of coating textiles [Sovremennyye metody naneseniya pokrytiya na tekstil']. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta = Herald of Technological University*, no. 18, pp. 69–72 [in Russian].

Gavrilova, O.E., Nikitina, L.L. (2014). Application of promising polymeric materials in light industry to improve the quality of products [Primenenie perspektivnyh polimernykh materialov v legkoj promyshlennosti dlya povysheniya kachestva izdelij]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of Kazan Technological University*, no. 14, pp. 96–99.

Kudrinsky, S.V., Tyurin, I.N. (2022). Study of the properties and determination of the composition of eco-materials based on plant leather [Issledovanie svojstv i opredelenie sostava ekomaterialov na osnove rastitel'noj kozhi]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, no. 399, pp. 81–85 [in Russian].

Marushchak, Yu.I., Yasinskaya, N.N. and Petyul, I.A. (2023). Development of a nomenclature of quality indicators and evaluation of eco-leather properties [Razrabotka nomenklatury pokazatelej kachestva i ocenka svojstv ekokozh]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, no. 404, pp. 103–111 [in Russian].

Marushchak, Yu.I., Yasinskaya, N.N. (2024). Comparative assessment of the ergonomic properties of fabrics with polyurethane coating [Sravnitel'naya ocenka ergonomicheskikh svojstv tkanej s poliuretanovym pokrytiem]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*, No. 2 (48), pp. 9–17 [in Russian].

Parvitskaya, D.T., Shustov, Yu.S., Bulanov, Ya.I. and Kurdenkova, A.V. (2019). Study of mechanical properties of membrane-coated fabrics after exposure to low temperature [Issledovanie mekhanicheskikh svoystv tkanej s membrannym pokrytiem posle vozdejstviya ponizhennoj temperatury]. *Nauka i obrazovanie segodnya = Science and education today*, no. 6 [41], Part 1, pp. 19–22 [in Russian].

Yasinskaya, N.N., Maruschak, Yu.I. and Skobova, N.V. (2024). Influence of the foaming ratio of the polyurethane composition and the thickness of the applied layer on the consumer properties of artificial leather [Vliyanie kratnosti vspenivaniya poliuretanovoj kompozicii i tolshchiny nanesenogo sloya na potrebitel'skie svoystva iskusstvennykh kozh]. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, no. 2 (410), pp. 225–232 [in Russian].

Huantian, C., Richard, W., Emma, S. and Quan, D. (2013). Evaluating Mechanical Properties of Environmentally Friendly Leather Substitute (Eco-Leather). *International Textile and Apparel Association Annual Conference Proceedings*, 70(1), pp. 8–9.

Meyer, M., Dietrich, S., Schulz, H. and Mondschein, A. (2021). Comparison of the Technical Performance of Leather, Artificial Leather, and Trendy Alternatives. *Coatings*, no. 11(2):226, pp. 1–15.

Suduo, Xue, Yan, Fei and Guojun, Sun (2022). Mechanical properties of coated fabric membranes at high temperature. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, no. 17(22), pp. 1–12.

Sureshkumar, P.S., Thanikaivelan, P., Phebe, K., Krishnaraj, K., Jagadeeswaran, R. and Chandrasekaran, B. (2012). Investigations on structural, mechanical, and thermal properties of pineapple leaf fiber-based fabrics and cow softy leathers: An approach toward making amalgamated leather products. *Journal Nat. Fibers*, no. 9, 37–50.

Zhang, Y., Zhang, Q. (2012). Mechanical properties of polyvinylchloride-coated fabrics processed with Preconstraint (R) technology. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, no. 31(23), p. 1670–1684.

Информация об авторах

Information about the authors

Марущак Юлия Игоревна

Аспирант кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: tonk.00@mail.ru

Ясинская Наталья Николаевна

Доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru

Yulia I. Maruschak

Postgraduate Student of the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: tonk.00@mail.ru

Natallia N. Yasinskaya

Doctor of Science (in Engineering), Associate Professor, Chair of the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: yasinskaynn@rambler.ru

Сравнительный анализ носков, изготовленных по инновационной технологии из специальных синтетических волокон**Д. Бёрнер, Б. Ариси,
К. Рорбах, Б. Малтиг***Нижнерейнская высшая школа прикладных наук,
Германия*

Аннотация. Функциональный текстиль охватывает широкий спектр различных материалов и продуктов. Понятие «функциональность» относится к свойствам, которые обычно не достигаются с помощью обычного текстиля. Функциональным свойством может быть огнестойкость, антистатичность или антимикробное действие. Добавление таких функциональных свойств часто требуется для самых разных типов одежды. Объектом исследований в данной работе были выбраны функциональные носки как коммерческий продукт. Особое внимание в работе уделено составу волокон этих носков и теплоизоляции продукта. Для этого рассмотрены шесть различных носков, доступных потребителю, которые, как заявляет производитель, обладают определенными функциональными свойствами. Для сравнения был исследован эталонный вариант – носок без специально заявленных функциональных свойств. Все носки содержат по крайней мере один из видов традиционного сырья, например, полиэфирные, полиамидные или хлопковые волокна. Пять носков содержат эластан в количестве от 2 % до 6 %, чтобы улучшить посадку изделий. Заявленные функциональные свойства достигаются за счет содержания инновационных волокон в этих трикотажных изделиях. Модакриловые хлорсодержащие волокна используются для достижения огнестойких свойств. Использование электропроводящих волокон, например, углеродных волокон, формирует антистатические свойства. Только для одного продукта упоминается применение биоцида для реализации эффекта защиты против насекомых. Носки исследовались с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и испытательной установки для определения теплоизоляционных свойств с использованием тепловой камеры, измеряющей температуру поверхности. Теплоизоляционные свойства носков можно четко определить. Однако интенсивность изоляции сильно зависит от типа продукта и области измерения – подушечки стопы, подъема или пятки. В результате установлено, что для создания функциональных носков используется широкий спектр различных материалов. Исследованные носки являются прекрасными примерами текстильных функциональных изделий, выполненных с использованием специальных видов синтетических волокон.

Ключевые слова: носки, функциональный текстиль, функциональные волокна, теплоизоляция.

Информация о статье: поступила 08 августа 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).

Comparative analysis of innovative socks made from special synthetic fibers**Giulia Börner, Berat Arici,
Carolin Rohrbach, Boris Mahltig***Hochschule Niederrhein, University of Applied Sciences,
Germany*

Abstract. Functional textiles cover a broad range of different materials and products. The term of functionality is related to properties which are typically not reached with conventional textiles. A functional property can be flame retardancy, antistatic or antimicrobial action. The addition of such functional properties is often demanded for very different types of clothes. To focus this actual report, an overview on functional socks as commercial products is given. A special view is made on the fiber composition of these socks and the thermal insulation of the product. For this, six different commercially available socks are considered which are all claimed to certain functional properties. Also, a reference material – sock without especially claimed functional property – is discussed. All socks contain at least one of the conventional fibers as

polyester, polyamide and cotton. Five socks contain elastane in an amount of 2 % to 6 %, to improve the fit of the products. Claimed functional properties are achieved by a content of high-performance fibers in these knitted products. Modacrylic fibers with chlorinated co-unit are used to achieve flame-retardant properties. The use of conductive fibers, as e.g. carbon fibers, leads to antistatic properties. Only for one product a biocide application is mentioned for realization of an anti-insect effect. The socks are investigated by using scanning electron microscopy (SEM) and a test set-up for determining the thermal insulation properties by using a heat camera measuring the surface temperature. The thermal insulation properties of the socks can be clearly determined. However, the intensity of insulation strongly depends on the type of product and the area of measurement – foot ball, instep or heel. Finally, it can be stated that a broad range of different materials are used to create functional socks. For this, socks are excellent examples for textile functional products realized with special synthetic fibers.

Keywords: socks, functional textiles, high-performance fibers, thermal isolation.

Article info: received August 08, 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).

Introduction

The functionalization of textiles refers to their aimed functional modification with additional or improved properties with regard to a specific application. A distinction can be made between the fiber-specific, physical properties and the, mostly superficial added properties, which are mainly realized by finishing processes. Functional fiber-specific properties can be realized by addition of high-performance fibers (Mahltig & Grethe, 2022). Prominent examples for high-performance fibers are Kevlar (para-aramid) for cut-resistance and flame-retardancy or modacrylic with chlorinated co-units (Kanecaron) for flame-retardancy (Mahltig & Grethe, 2022; Mahltig, 2021). Please, compare the totally different chemical structures of both high-performances fiber in Figure 1. Examples for functionalization by finishing processes are the application of flame-retardant agent or antimicrobial substances (Lam, Kan & Yuen, 2012). Functionalized textiles are particularly popular in the outdoor clothing sector (Miao, Wang, Yu & Ding, 2022). Outdoor clothing generated sales in Germany in 2023 of around 270 million Euro. Till 2029 a growth of nearly 35 million Euro to finally around 315 million Euro is forecasted in this section (Statista, 2024a). Important clothing categories in terms of functional textiles are: Sportswear and workwear. The latter in particular has the intention to protect humans from external influences. Frequently aimed are functional properties as e.g. breathability, wind and waterproof but also flame retardancy (Cheng et al., 2020). Due to the broad range of different functional textile

products available on the market, the actual report has to focus on a special type of cloth. This focus is set to socks, where products with manifold functional properties are offered on the market. A special view is made on the fiber composition of these socks and their thermal insulation properties. Even if the size of a sock is small comparable to other pieces of clothes, they are economically important products. The German market for socks has achieved around 1.6 billion Euro in 2023. The trend of the markets is positive. There is an increasing demand for socks in Germany forecasted till 2028 (Statista, 2024b).

For the current overview, six different commercially available socks are considered which are all claimed to certain functional properties. Also, a reference material – sock without especially claimed functional property – is discussed. One aim of the current study is to report on the broad variation of functional properties and materials which are commercially available with textile socks. A special view is done on the used fiber materials and high-performance fibers. For evaluation of thermal insulation properties, a simple test is developed which is set in simple relation to consumer application and the textile sock as special product. The description of the testing procedure by using a heat camera can be as well used to transfer this test set-up for evaluation of other types of clothes and is by this of general interest for people, who are working in the field of functional textiles and clothing products.

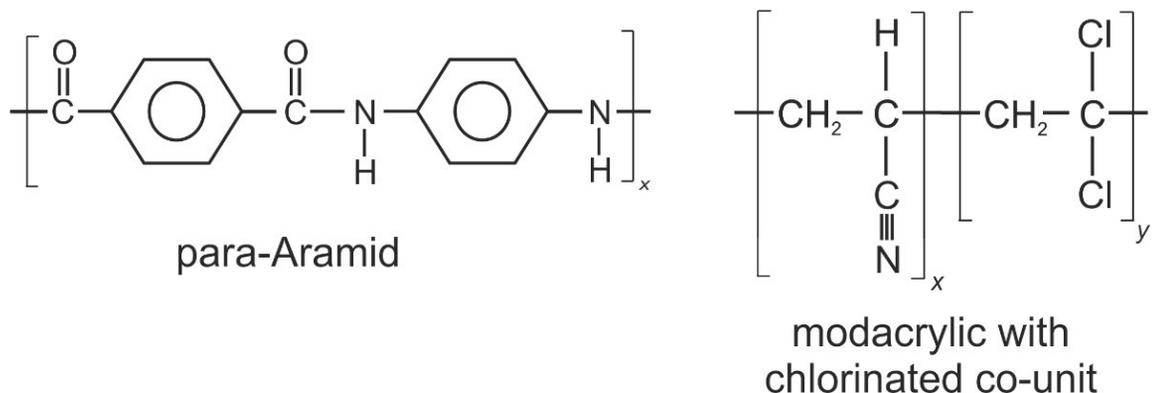


Figure 1 – Chemical structures of polymers related to high-performance fibers – left: para-Aramid; right: acrylic with chlorinated co-unit for flame-retardant properties

Table 1 – Overview on discussed functional socks, presented are trade names, suppliers and labels & standard mentioned by the supplier. Trade names originally in German language are also given in the English translation. The sample sock R is a reference material without special promotion as functional textile material

No.	Name	Supplier	Mentioned Labels & Standards
R	Herren Vollfrotteesocken "Men's full terry socks"	Ronly	Oeko Tex Standard 100
1	Flammschutz Arbeitssocken "2505" schwarz "Flame retardant work socks "2505" black"	Blaklader Workwear	EN 1149; EN 14116
2	Tech Summer Socks	Diadora Utility	ISO 9001:2015
3	ESD Funktionssocke-Sommer Schwarz/Grau "ESD functional socks summer black/gray"	Runnex	CE-Label
4	SK24 Bamboo Hiker Socks	Portwest	Not mentioned
5	BHP001 Thermoactive Workwear Socks	Brubeck Protect	Not mentioned
6	Top Flame Long	Cofra	EN 11612A1B1C1:2008, EN1149-5:2008

Materials and Products

For the current overview on commercially available textile socks, seven different products are considered (Table 1). Six products are distributed by the suppliers with claimed functional properties. These products are named as sample 1 to 6. As reference material, conventional sock is chosen, which is sold for clothing purposes without claiming further functional properties. This product is named as sample R and is the only one in this selection carrying an Oeko Tex Label (Table 1). For the two samples 1 and 6 dedicated to flame retardant properties, standards

related to flame retardancy and antistatic properties are given.

An overview on functional properties and the containing fiber materials as given as supplier information is listed in Table 2. All socks contain at least one of the conventional fibers as polyester, polyamide and cotton. Five socks contain elastane in an amount of 2 % to 6 %, to improve the fit of the products. Also, for the reference sample properties as "warming" and "high wearing comfort" are mentioned. Claimed functional properties are achieved by a significant content of high-performance fibers in

Table 2 – Overview on discussed functional socks, presented are functional properties, fiber materials and further information on composition mentioned by the supplier. The sample sock R is a reference material without special promotion as functional textile material

No.	Mentioned functional properties	Fiber materials	Further information given on composition
R	Comfort waistband, warming, high wearing comfort	77 % cotton, 19 % polyamide, 2 % polyester, 2 % elastane	--
1	Antistatic; flame retardant	40 % modacrylic, 26 % cotton, 25 % polyamide, 6 % elastane, 3 % conductive fibers	---
2	Coolmax, kevlar	45 % polyester, 25 % cotton, 20 % polyamide, 6 % elastane, 4 % aramid (Kevlar)	---
3	Coolmax Core; ESD-fähig "antistatic", Si Repel Mosquito	43 % polyester Coolmax, 32 % polyamide, 22 % cotton, 2 % elastane, 1 % other fiber materials	Impregnated with biocidal product
4	Humidity up-take, breathable, antibacterial, prevents odor formation	43 % bamboo, 35 % polypropylene, 20 % polyamide, 2 % elastane	---
5	Durable, thermal-insulating, antibacterial, anti-allergic, quick-drying	46 % polyester, 25 % polypropylene, 19 % cotton, 7 % polyamide, 3 % elastane	---
6	Flame retardant, antistatic, breathable	60 % modacrylic, 38 % cotton, 2 % carbon	---

these knitted products. In case of sample products 1 and 6, modacrylic fibers with chlorinated co-unit are used to achieve flame-retardant properties. The use of conductive fibers, as e.g. carbon fibers, leads to antistatic properties. For the sample products 2 and 3 the use of Coolmax fibers is described, which is a special type of polyester fiber exhibiting moisture transport properties. For sample 3 also a repellency to mosquitos is mentioned as functional property, which is reached by impregnation with a biocidal product. Sample product 3, is also described to be "ESD-fähig" (antistatic). This antistatic property can be related to the 1 % of other fiber materials, which composition is not disclosed in detail. Sample 4 is in this overview the only sample with bamboo fiber, which is probable a regenerated cellulose fiber based on bamboo as material source (Alvarez, Ławińska & Falkiewicz-Dulik, 2020). Remarkable is the use of polypropylene fibers in the product samples 4 and 5, because the use of this fiber is quite uncommon for clothing application. However, the application of the hydrophobic polypropylene fiber might be supporting the claimed quick-drying and breathable effects. Also, an influence on friction coefficients is reported (Zhang et al., 2023).

Analytical Methods

Microscopic investigations are done by scanning electron microscopy using a Tabletop microscope TM3000 from Hitachi (Japan). The samples are investigated as received and no further pretreatment is done before microscopic measurements. The thermal properties of the socks are evaluated using a heat camera type FLIR-P640 (InfrarotTec Systems, Ranstadt, Germany). For thermal insulation measurements, all socks are investigated in worn condition by using the heat camera. For reference, a measurement is done at bare feet. To ensure comparability of the results, the foot was acclimatized, by being barefoot for a minute between each measurement. By using the heat camera, a photo is recorded after wearing the sock for three minutes. Examples for such photographs are presented in Figure 2. Afterwards the camera recorded the temperature of the foot at three different points – the ball of the foot, on the instep and on the heel.

Microscopic investigations

The structure of the knitted fabrics and the yarn structure of all seven products are evaluated by scanning electron microscopy (SEM). SEM images taken in low and medium magnification are presented in Figures 3 and 4.

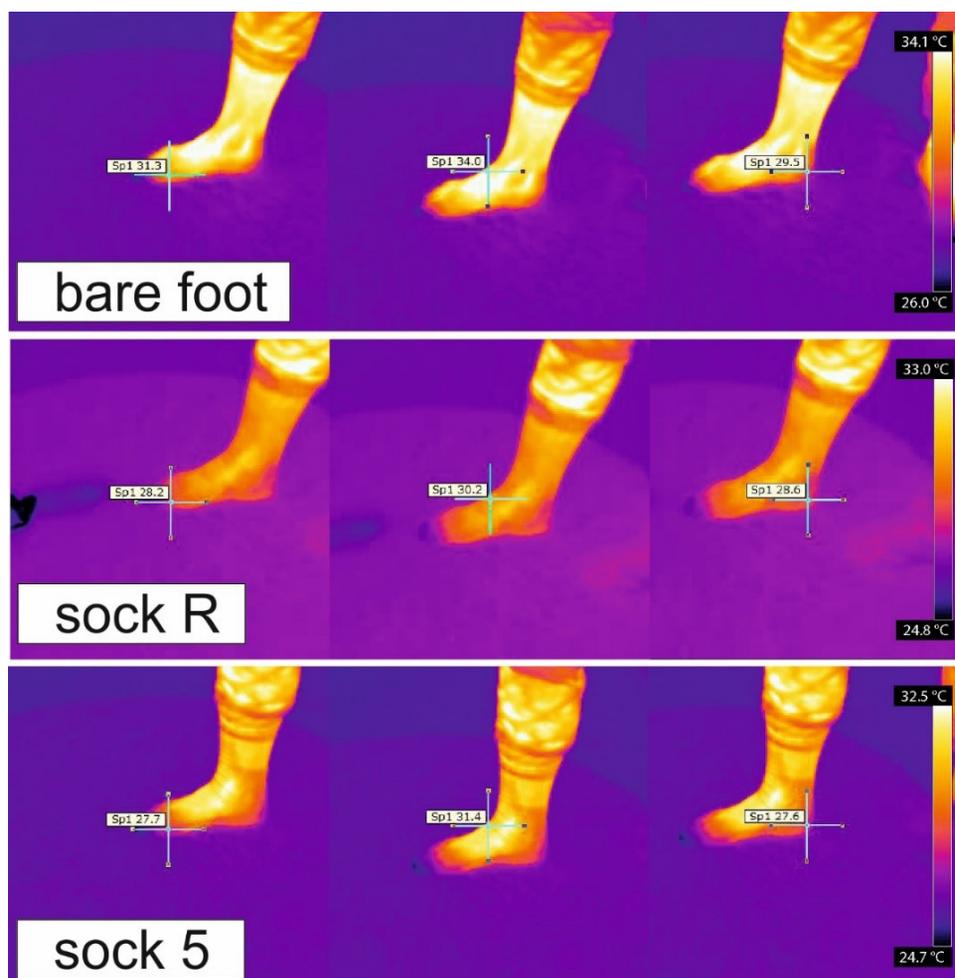


Figure 2 – Images taken with heat camera on bare foot and foot covered by different socks. The temperatures are recorded after three minutes at three different positions of the foot (ball, instep, heel)

These images are recorded from samples taken from the shaft of the socks. For the reference sample, mainly the cotton fibers are determined. For samples 2 and 6, fibers are detected in different brightness according to a material contrast. Materials containing chemical elements with higher atomic number (as e.g. chlorine) appear brighter in SEM images [Mahltig & Grethe, 2022]. By this, the chlorine containing modacrylic fiber can be distinguished from cotton or polyester. For both samples the modacrylic fiber is part of a blended yarn introduced to the knitted fabric. In higher magnification, the SEM images of sample 6 exhibits also bright dots onto the

acrylic fibers. These dots might be related to the addition of antimony oxide Sb_2O_3 , which is a catalyst known for supporting the flame-retardant properties of halogen containing organic materials [Zhang et al., 2023].

Thermal investigations

The investigation of thermal insulation properties, is done by determination of the surface temperature of the foot carrying the socks. The surface temperatures are determined at three different positions of the foot – the ball, instep and heel. Among these positions, for the instep the highest temperature is determined. Reference measurements are done with the bare foot. For the bare

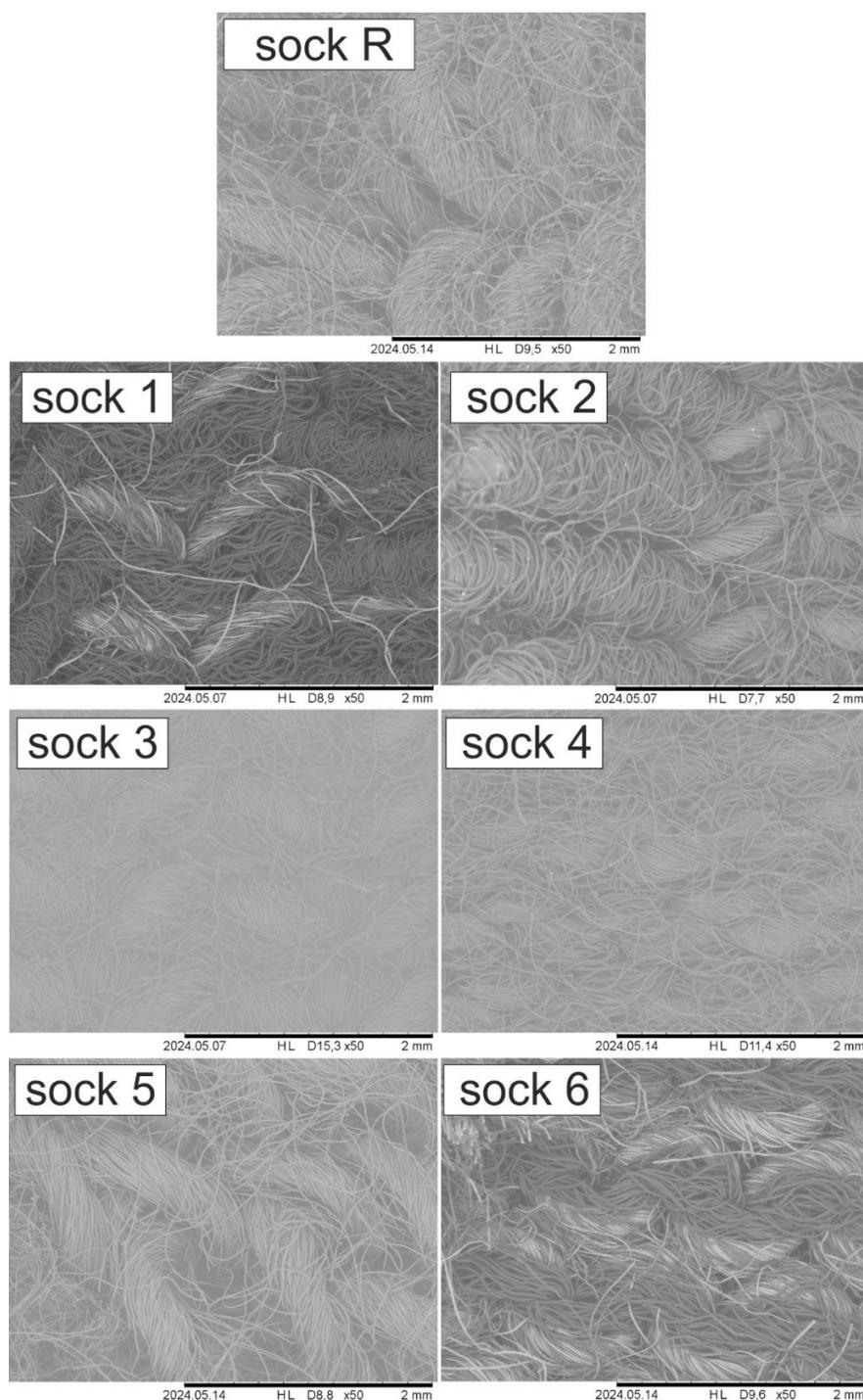


Figure 3 – Microscopic images of the different socks recorded with scanning electron microscopy in low magnification. Samples for microscopy are taken from the shaft of the socks

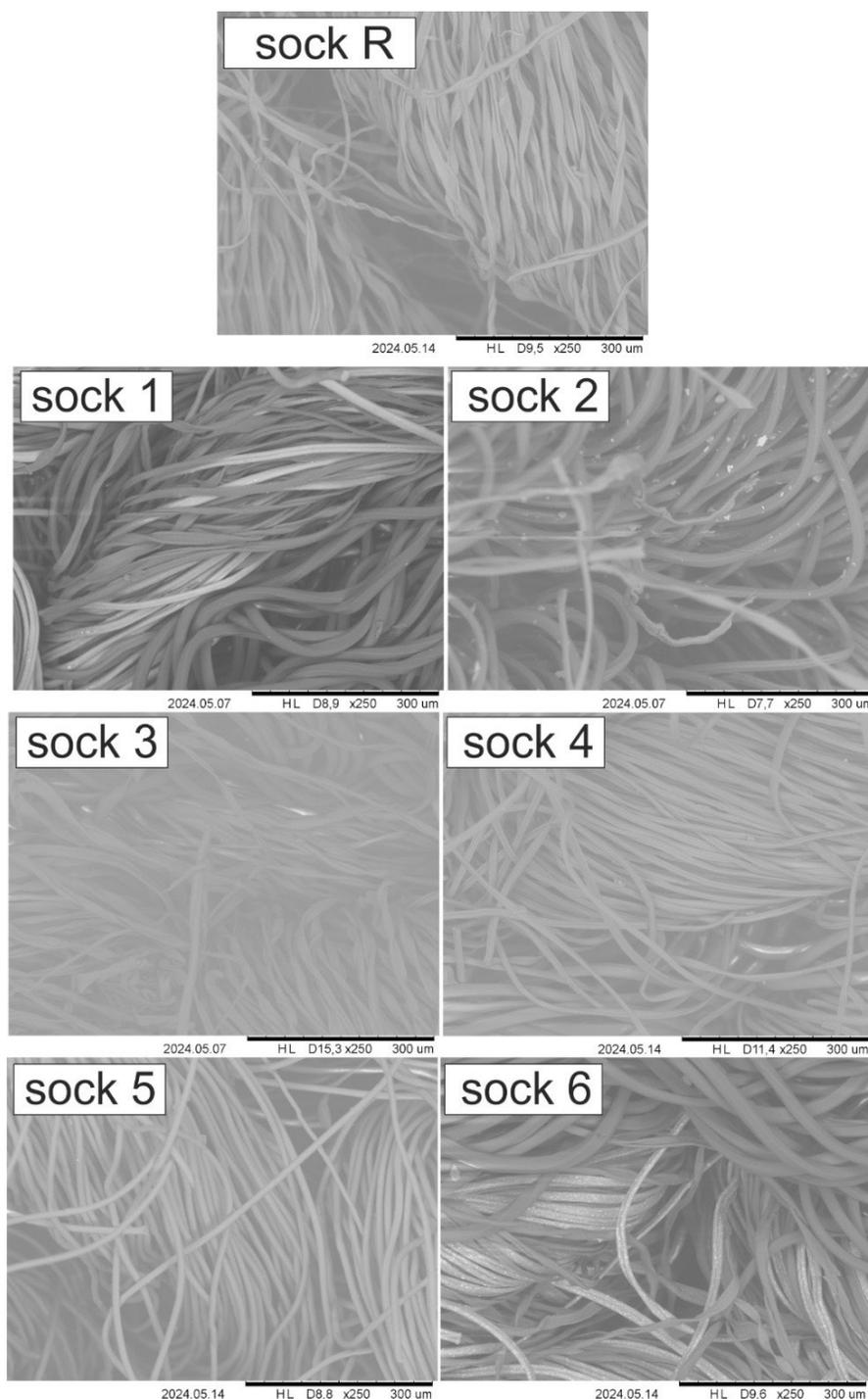


Figure 4 – Microscopic images of the different socks recorded with scanning electron microscopy in medium magnification. Samples for microscopy are taken from the shaft of the socks

foot, surface temperatures in the range of 29.5 to 34 °C are determined, which are below the body temperature of 36 °C for humans. A foot covered by the reference sample sock R shows a significantly decreased surface temperature. This decreased surface temperature indicates a thermal insulation caused by the sock. This effect is strongest for the measurement area of the instep. The functional socks 1 to 6 exhibit results strongly dependent on the measurement area. For the ball area, the thermal insulation of the functional socks is quite similar to the reference sock. Here, sample sock 4 exhibit the highest thermal insulation and sample sock 1 the lowest insulation (even lower than the reference sock). For the instep area, all functional socks exhibit higher surface temperatures compared to the reference sock, so a kind of cooling effect might be claimed. However, this cooling effect can be only claimed in comparison to the conventional sock and not to the bare foot. For the heel area, the functional socks 1 to 3 are quite similar to the conventional sock but the socks 4 to 6 exhibit significant lower thermal insulation properties. Based on these measurements, overall for the product samples 4 to 6 it is justified to claim a cooling effect comparable to conventional socks.

Summary & conclusions

In the area of functional textiles, there are many options for equipment, properties and manufacturing processes to produce them. Combining different materials opens up additional possibilities. As well as through the use of fiber mixtures and high-performance fibers. The seven textile

socks tested differ greatly in their material composition, but also have some similarities. All socks contain a certain percentage of cotton, except for the sample 4, which uses bamboo instead. In addition, the socks, with the exception of sample 6, contain elastane to increase elasticity and fit. The main properties resulting from the material compositions of the socks are clearly different, as each sock is tailored to its specific purpose. Their thermal insulation capacity fluctuates accordingly. However, the measured surface temperatures might differ from the personal impression of consumers, due to personal circumstances. Not only the insulation performance and material composition are crucial for wearing comfort, but also the surface construction of the product. All socks have heel and toe areas reinforced with terry cloth. The reference sock does not have any extra reinforced areas as it is a full terry cloth sock. In conclusion, it can be stated that the thermal insulation performance of socks is an important property contributing significantly to the wearer's subjective perception of comfort. Since every person finds a different temperature comfortable, it might be difficult to make a uniform statement about the insulation performance of socks. What counts here is not just the subjective perception of the wearer, but also the combination of the material and other functional properties of the sock. Measured values, manufacturer information and material compositions give the consumer an information as to whether the product might be suitable for their intended use and their personal body feeling. However, the consumer only gains real security

Table 3 – Temperature overview after thermal tests on the socks; the surface temperature determined at different foot positions in comparison to the bare foot and the reference sock R

	Ball			Instep			Heel		
	Temp.	$\Delta T_{Fu\beta}$	$\Delta T_{S R}$	Temp.	$\Delta T_{Fu\beta}$	$\Delta T_{S R}$	Temp.	$\Delta T_{Fu\beta}$	$\Delta T_{S R}$
bare foot	31.3 °C			34.0 °C			29.5 °C		
Sock R	28.2 °C	-3.1 °C		30.2 °C	-3.8 °C		28.6 °C	-0.9 °C	
Sock 1	29.3 °C	-2.0 °C	1.1 °C	32.3 °C	-1.7 °C	2.1 °C	28.7 °C	-0.8 °C	0.1 °C
Sock 2	28.4 °C	-2.9 °C	0.2 °C	31.9 °C	-2.1 °C	1.7 °C	28.5 °C	-1.0 °C	-0.1 °C
Sock 3	28.0 °C	-3.3 °C	-0.2 °C	32.1 °C	-1.9 °C	1.9 °C	28.2 °C	-1.3 °C	-0.4 °C
Sock 4	26.9 °C	-4.4 °C	-1.3 °C	30.9 °C	-3.1 °C	0.7 °C	27.3 °C	-2.2 °C	-1.3 °C
Sock 5	27.7 °C	-3.6 °C	-0.5 °C	31.4 °C	-2.6 °C	1.2 °C	27.6 °C	-1.9 °C	-1.0 °C
Sock 6	28.1 °C	-3.2 °C	-0.1 °C	30.7 °C	-3.3 °C	0.5 °C	27.3 °C	-2.2 °C	-1.3 °C

through their own experience wearing it. It is advisable to focus on objectively assessable functions such as flame protection, antistatic properties or antibacterial features and to treat subjectively assessable properties (insulation performance, weight, compression) as a secondary priority.

Conflicts of interest

The authors declare no conflict of interest in the authorship or publication of this paper. All product

and company names mentioned in this article may be trademarks of their respected owners, even without labeling.

Funding

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

REFERENCES

- Alvarez, J., Ławińska, K. and Falkiewicz-Dulik, M. [2020]. Quality assessment of viscose bamboo fabrics intended for use inside children's and special footwear. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, vol. 28, pp. 82–88.
- Cheng, R., Dong, K., Liu, L., Ning, C., Chen, P., Peng, X., Liu, D. and Wang, Z.L. [2020]. Flame-retardant textile-based triboelectric nanogenerators for fire protection applications. *ACS Nano*, vol. 14, pp. 15853–15863.
- Kaplan, S. and Akgünoğlu, B. [2021]. Transfer and friction characteristics of sports socks fabrics made of synthetic fibres in different structures. *Tekstilec*, vol. 64, pp. 325–337.
- Lam, Y.L., Kan, C.W. and Yuen, C.W.M. [2012]. Developments in functional finishing of cotton fibres – wrinkle-resistant, flame-retardant and antimicrobial treatments. *Textile Progress*, vol. 44, pp. 175–249.
- Mahltig, B. and Grethe, T. [2022]. High-performance and functional fiber materials – a review of properties, scanning electron microscopy SEM and electron dispersive spectroscopy EDS. *Textiles*, vol. 2, pp. 209–251.
- Mahltig, B. [2021]. High-performance fibres – a review of properties and IR-spectra. *Tekstilec*, vol. 64, no. 2, pp. 96–118.
- Miao, D., Wang, X., Yu, J. and Ding, B. [2022]. Nanoengineered textiles for outdoor personal cooling and drying. *Adv. Functional Mater.*, vol. 32, art. 2209029.
- Statista, [2024]. *Umsatz mit Outdoor-Ausrüstung weltweit in den Jahren 2019 bis 2024 mit einer Prognose bis 2029*, [Online], Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1343181/umfrage/umsatz-mit-outdoor-ausruestung-in-deutschland/> last [Accessed: 6 August 2024].
- Statista, [2024]. *Umsatz mit Strumpfwaren in Deutschland in den Jahren 2018 bis 2023 mit einer Prognose bis 2028*, [Online], Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/672190/umfrage/umsatz-mit-strumpfwaren-in-deutschland/last> [Accessed: 6 August 2024].
- Zhang, L., Chen, T., Xu, H., Liu, X., Zhang, J. and Chai, R. [2023]. Simultaneously enhanced flame retardancy and smoke suppression properties of flexible polyvinyl chloride with the incorporation of modified Mg(OH)₂ and Sb₂O₃. *Materials Today Communications*, vol. 34, art. 105448.

Информация об авторах

Information about the authors

Бёрнер Джулия

Бакалавр, факультет текстильных и швейных технологий, Нижнерейнская высшая школа прикладных наук, Германия.

Ариси Берат

Бакалавр, факультет текстильных и швейных технологий, Нижнерейнская высшая школа прикладных наук, Германия.

Giulia Börner

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

Berat Arici

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

Рорбах Каролин

Бакалавр, факультет текстильных и швейных технологий, Нижнерейнская высшая школа прикладных наук, Германия.

Малтиг Борис

Профессор, факультет текстильных и швейных технологий, Нижнерейнская высшая школа прикладных наук, Германия.

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

Carolin Rohrbach

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

Boris Mahltig

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

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

Определение рациональных режимов процесса нанесения нановолокнистого покрытия на водорастворимую пленку методом электроформования

М. С. Карнилов,
Д. Б. Рыклин

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Одним из актуальных направлений создания новых видов материалов с уникальными свойствами для применения в различных сферах деятельности человека являются нанотехнологии. Статья посвящена разработке двухслойного материала для использования в хирургии, представляющего собой растворимую пленку, выполняющую функцию противоспаечной мембраны, с нановолокнистым покрытием, обеспечивающим гемостатический эффект. Целью исследования было определение оптимальных режимов электроформования нановолокнистого слоя на растворимую пленку с использованием подложек различного вида. При проведении исследований на установке Fluidnatek LE-50 покрытие на основе поливинилового спирта (ПВС) с добавлением хлорида алюминия наносилось на пленку, полученную из ПВС, глицерина и желатина. Для фиксации пленки на коллекторе использовались три варианта подложек. Получены регрессионные модели, описывающие влияние потенциалов эмиттером и коллектором и расстояния между ними на расход прядильного раствора, при котором процесс электроформования происходил стабильно.

Установлены оптимальные параметры процесса электроформования при использовании каждой из исследованных подложек.

Выявлено, что в случае использования в качестве подложек матовых поливинилхлоридных пленок оптимальный процесс электроформования достигается при уменьшении расстояния между эмиттером и коллектором с одновременным повышением разности их потенциалов по сравнению с вариантом применения в качестве подложки силиконизированной бумаги.

Ключевые слова: электроформование, нановолокна, противоспаечная мембрана, гемостатический эффект.

Информация о статье: поступила 18 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).

Determination of rational modes of the process of nanofibrous covering to a water-soluble film by electrospinning

Mikhail S. Karnilov,
Dzmitry B. Ryklin

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. One of the current areas of creating new types of materials with unique properties for use in various fields of human activity is nanotechnology. The article is devoted to the development of a two-layer material for use in surgery, where a soluble film acts as an anti-adhesion membrane and a nanofibrous coating provides a hemostatic effect. The aim of the study was to determine the optimal modes of nanofibers electrospinning on the soluble film using various types of substrates. During studies conducted on the electrospinning machine Fluidnatek LE-50, nanofibers were produced from solution of polyvinyl alcohol (PVA) with the addition of aluminum chloride on the film composed of PVA, glycerin, and gelatin. Three types of substrates were used to fix the film on the machine collector. Regression models were obtained that describe the effect of the emitter and collector potentials and the distance between them on the consumption of the spinning solution at which the electrospinning process was stable. Optimal parameters of the electrospinning process were determined when using each of the studied substrates. It was found that using matte polyvinyl chloride films as

substrates, the optimal electroforming process is achieved by decreasing the distance between the emitter and collector while simultaneously increasing the difference in their potentials compared to using siliconized paper as a substrate.

Keywords: electrospinning, nanofibers, anti-adhesion membrane, hemostatic effect.

Article info: received September 18, 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

Одним из актуальных направлений создания новых видов материалов с уникальными свойствами для применения в различных сферах деятельности человека являются нанотехнологии. Среди областей применения таких материалов важное место занимает медицина.

В настоящее время для терапевтических и исследовательских нужд современной медицины активно применяются разнообразные по форме и дисперсному составу металлические, полупроводниковые, полимерные, оксидные, углеродные наноструктурированные материалы, например, материалы с содержанием частиц серебра, контрастные средства на основе суперпарамагнитных наночастиц оксида железа [Хубутя А. Ш. и др., 2012].

Одной из разновидностей наноструктурированных материалов медицинского назначения являются нановолокнистые материалы, получаемые методом электроформования, сущность которого заключается в получении нановолокон за счет воздействия электрического поля на раствор или расплав полимера [Haider A., Haider S. and Kang, 2018; Stace et. al., 2019; Mehnath et. al., 2020]. Данный метод позволяет получать пленки и композиционные материалы, структура и состав которых обеспечивает достижение заданного уровня водо- и паропроницаемости, антимикробных и противовирусных свойств. В связи с этим в мире наблюдается устойчивый интерес к применению нановолокнистых материалов в биоинженерии и медицине для создания изделий санитарно-гигиенического, косметологического и лечебно-назначения, в том числе, для обеспечения доставки лекарств и заживление ран [Wang, H. S., 2009]. Нановолокнистые материалы, как лечебное средство, применяются в качестве различных покрытий, в которых они выполняют как защитные, так и лечебные функции при повреждениях, например, внутренних органов [Chagas et. al., 2021; Su et. al., 2021; Hermenegildo et. al., 2022].

В ряде случаев целесообразно использовать многослойные нановолокнистые материалы [Рыклин Д. Б. и др., 2021], например, при создании изделий, применение которых позволяет обеспечить последовательное выделение активных веществ в соответствии с принципом доставки лекарств, при высокой адгезии нановолокнистого материала определенного состава и назначения к подложке или при изготовлении нановолокнистых структур, которые обеспечивают инкапсулирование активных веществ, характеризующихся достаточно высокой летучестью.

Перспективным направлением разработки новых видов материалов на основе применения метода электроформования является создание гемостатических лекарственных средств, применение которых обеспечивает эффективную остановку кровотечения [Демидова и др., 2021].

Имеющиеся сегодня на рынке препараты, обладающие гемостатическим эффектом, соответствуют далеко не всем требованиям эффективности, среди которых можно выделить следующие: необходимость достижения гемостаза за временной интервал менее 2 минут, высокая адгезивность, отсутствие токсичных и антигенных свойств, удобство применения, легкость снятия с подложек, не подвергающихся биodeградации [Кобелевская, 2014; Плотникова, 2015]. Соответственно, одни не могут использоваться при эндоскопических операциях, другие не способны полностью деградировать в организме человека, что приводит к воспалению и потребности повторного оперативного вмешательства, третьи не обладают достаточной адгезией.

В качестве одного из путей создания эффективного лекарственного средства, обеспечивающего гемостатический эффект предложена нановолокнистая пленка, полученная на основе поливинилового спирта (ПВС), содержащая хлорид алюминия [Демидова и др., 2021]. При испытаниях данной пленки на биологических объектах

отмечено плотное прилегание образца к краям раны. Гемостаз достигался сразу же после нанесения лекарственного препарата, причем его плотность и состав не позволяли току крови прорваться наружу. На шестые сутки следов пленки на печени не наблюдалось, поэтому после использования лекарственного препарата потребность в его смывании или удалении иным способом отсутствовала.

Несмотря на установленную эффективность данного вида лекарственного средства важно отметить, что его растворение после остановки кровотечения происходило достаточно быстро, в связи с чем при последующем применении в хирургии имеется вероятность образования спаек тканей внутренних органов. Образование спаек является одним из распространенных негативных последствий операционных вмешательств. Известно, что спайки после операций на органах брюшной полости возникают в 67–95 % случаев, а спаечная болезнь развивается в 12–64 % случаев [Самарцев и др., 2017].

Чтобы практически полностью исключить риск образования спаек предложено разработать двухслойный материал, представляющий собой растворимую пленку с нановолокнистым покрытием.

Принцип действия данного материала заключается в том, что при его нанесении на рану происходит достаточно быстрое растворение нановолокнистого покрытия под действием биологических жидкостей организма с высвобождением из него активного компонента ($AlCl_3$), что обеспечивает гемостатический эффект, в то время как растворимая плёнка, позволяет сохранять форму, препятствовать образованию спаек внутренних тканей и не терять эксплуатационных характеристик в течение более продолжительного времени.

Разработка такого материала ставит перед исследователями ряд задач, которые необходимо решить:

1. Выбрать состав и способ получения растворимой пленки, обеспечивающей минимальную жесткость и заданную скорость растворения внутри организма.
2. Определить способ закрепления пленки на осадительном электроде (коллекторе), в том числе, обосновать вид подложки для закрепления растворимой пленки.
3. Определить влияние пленки, как дополнительного слоя между эмиттером и коллектором установки для электроформования, на рациональные режимы получения покрытия.

Целью исследования было определение оптимальных режимов электроформования нановолокнистого слоя на растворимую пленку с использованием подложек различного вида.

Методы и средства исследований

При выборе исходных компонентов для получения пленки, которая является основой для производства разрабатываемого материала принимались во внимание предъявляемые к ней требования, такие как биосовместимость, биodeградируемость, а также приемлемые механические свойства: низкая жесткость, достаточная прочность, предотвращающая повреждение пленки при хирургических манипуляциях, а также при воздействии потока крови. [Z. Gao et. al., 2021; Pillai et.al., 2021]. На основании анализа различных полимеров в качестве основного компонента пленки был выбран поливиниловый спирт (ПВС).

ПВС является биосовместимым полимером, не оказывает токсической нагрузки на организм пациента и не вызывает иммунного ответа, обладает специфическим характером и скоростью растворения, способен выводиться из организма пациента и не накапливается в тканях и органах. Благодаря нетоксичности ПВС может применяться в медицине в качестве клеев, пластырей, стерильных салфеток, хирургических нитей, фармацевтических препаратов, для изготовления плазмозамещающих растворов¹. ПВС является водорастворимым полимером, в связи с чем широко применяется в инновационной медицине для получения нановолокнистых материалов с высокой скоростью растворения.

Для повышения эластичности пленки в качестве пластификатора было принято решение о введении в ее состав глицерина. Известно, что глицерин – один из важных компонентов в медицине. В качестве увлажняющего средства он входит в состав многих кремов, мазей, мыла. Глицерин выполняет защитную функцию, так как сохраняет влагу внутри материала, что позволяет материалу быть более пластичным. В медицине его используют в качестве антисептика при комплексном лечении многих заболеваний, [способствует заживлению ран, препятствует заражению и гноению]².

¹ «Глицерин в медицине», [Online], <https://mplast.by/encyklopedia/fiziologicheski-aktivnyie-polimeryi/>, (02.12.2024).

² «Применение поливинилового спирта в медицине», [Online], <https://www.sardiko.ru/articles/primenenie-polivinilovogo-spirta-v-medicine/>, (02.12.2024).

Для ускорения процесса формирования пленки в состав раствора ПВС вводился желатин. Желатин также находит свое применение в медицине, он увеличивает вязкость крови, способствуя ее свертываемости.

После проведения серии предварительных экспериментов предложен следующий состав раствора для получения растворимой пленки: ПВС – 3,6 %, глицерин – 5,4 %, желатин – 0,9 %. При снижении содержания глицерина получаемая пленка повышала жесткость, а повышение концентрации каждого из компонентов приводило к увеличению толщины пленки.

Для получения пленки раствор наносился на матовое стекло равномерным слоем из расчёта 6 мл раствора на 100 см² площади поверхности. Время застывания данного слоя составляет 48 часов при температуре 25 °С и влажности воздуха 40 %. В результате получена плёнка имеет толщиной 0.2 мм и плотностью 0,46 г/см³. Поверхностная плотность составила 92 г/м².

Выбор состава нановолокнистого покрытия осуществлялся на основе проведенных ранее исследований (Демидова и др., 2021). В качестве волокнообразующего полимера также был выбран ПВС. Важно отметить, что процесс растворения материалов из ПВС существенно зависит от их структуры. Так исходные гранулы из ПВС растворяются в воде в течение 30–40 минут при температуре не ниже 70 °С, в то время как нановолокнистые материалы, полученные из данного полимера растворяются практически мгновенно под действием воды комнатной температуры. Как было установлено, ранее

рациональная концентрация ПВС в прядильном растворе составляет 14 %. В качестве функционального компонента, обеспечивающего гемостатический эффект, был выбран хлорид алюминия, содержание которого в прядильном растворе составило 1,4 %.

Процесс электроформования нановолокнистого слоя осуществлялся на установке Fluidnatek LE-50 (рисунок 1). Для получения разрабатываемого материала водорастворимая пленка закреплялась на пергаментной силиконизированной бумаге, также как и в случае получения нановолокнистых пленок. Данный вид подложки не оказывает существенного влияния на протекание процесса электроформования и благодаря низкой адгезии обеспечивает снятие пленки без повреждений. Расположение слоев получаемого материала представлено на рисунке 2.

Подложка с закрепленной на ней пленке фиксировалась на коллекторе – осадительном электроде, на который подавался отрицательный потенциал.

При проведении исследований установлено, что процесс электроформования протекал достаточно стабильно, амплитуда колебаний волокнообразующей струи находилась в пределах 4–5 см, не происходил срыв капли с конца иглы. Как было установлено ранее (Карнилов, Рыклин, 2024) подобные колебания оказывают незначительное влияние на распределение волокон по диаметру, однако приводят к некоторому росту количества пороков в структуре получаемого материала, которые ухудшают его функциональные свойства.

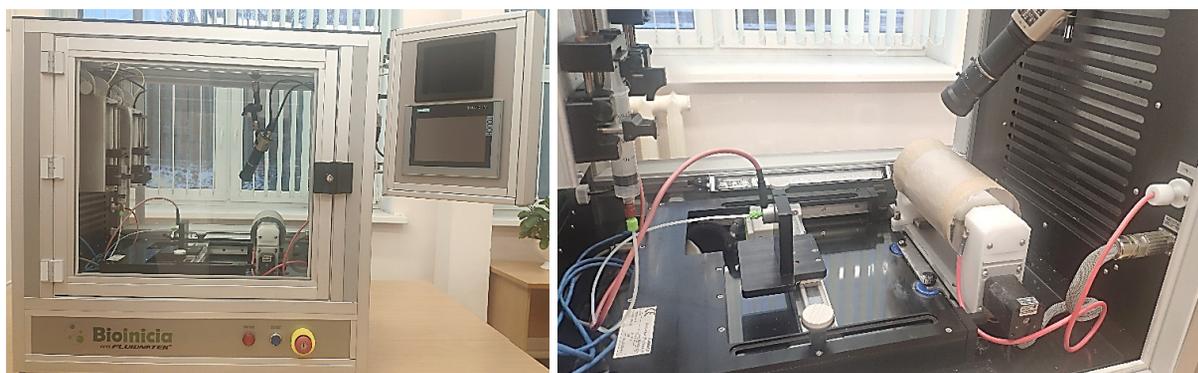


Рисунок 1 – Установка Fluidnatek LE-50
Figure 1 – Electrospinning machine Fluidnatek LE-50



Рисунок 2 – Структура слоёв готового изделия:
1 – подложка, 2 – биоразлагаемый слой,
3 – нановолокнистый слой
Figure 2 – Layer structure of the finished product:
1 – substrate, 2 – biodegradable layer,
3 – nanofibrous layer

Важно отметить, что режимы работы установки, при которых осуществлялась наработка образца отличались от режимов, которые были рекомендованы при производстве гемостатического нановолокнистого материала без водорастворимой пленки, так расход прядильного раствора был увеличен с 1,1 мл/ч (Демидова и др., 2021) до 2,6 мл/ч при установке потенциала коллектора – 7 кВ и потенциала эмиттера 29 кВ.

Структура нановолокнистого покрытия, полученного с использованием сканирующего электронного микроскопа LEO 1420 (Carl Zeiss, Германия), представлена на рисунке 3.

Определение среднего диаметра получаемых волокон и их неравномерности по толщине осуществлялось на основе измерений 100 волокон образца по изображениям, полученным при увеличении в 10000 раз. Средний диаметр волокон составил около 300 нм, коэффициент вариаций по диаметру волокна – 51 %. Гистограмма распределения волокон по диаметру представлена на рисунке 4.

Анализируя представленные изображения, можно отметить, значительное количество дефектов, представляющих собой застывшие капли прядильного раствора размером от 1 до 15 мкм, а также слипшиеся пряди нановолокон. Можно предположить, что причинами появления указанных дефектов, как и высокого значения коэффициента вариации по диаметру волокон, является неполное растворение функционального компонента или его неоднородное распределение в прядильном растворе, а также местное неплотное прилегание биоразлагаемой плёнки к силиконизированной бумаге.

Также выявлена недостаточная технологичность использования силиконизированной пергаментной бумаги

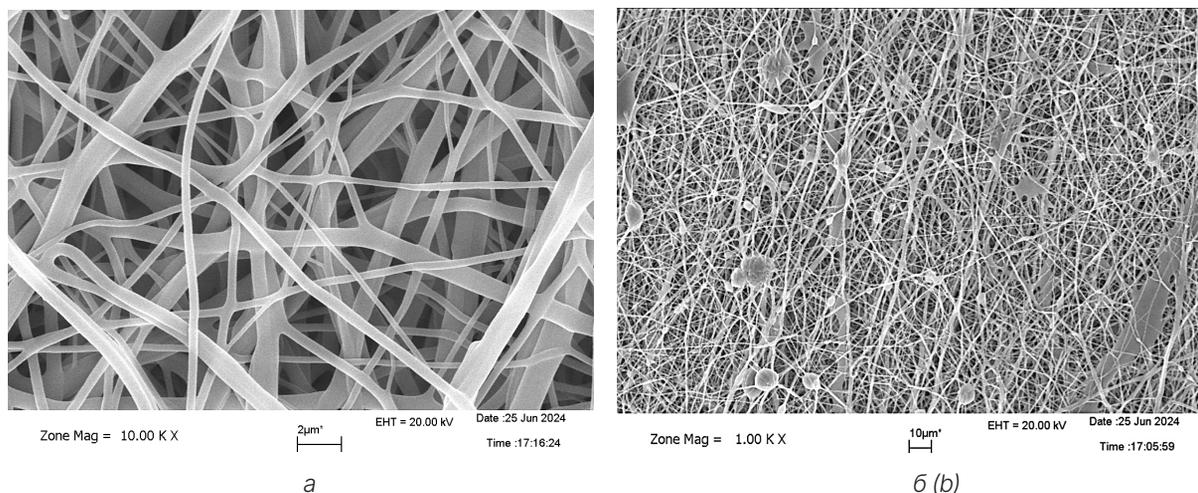


Рисунок 3 – СЭМ изображение нановолокнистого покрытия:
а – $\times 10000$, б – $\times 1000$
Figure 3 – SEM image of the nanofibrous covering:
а – $\times 10000$, б – $\times 1000$

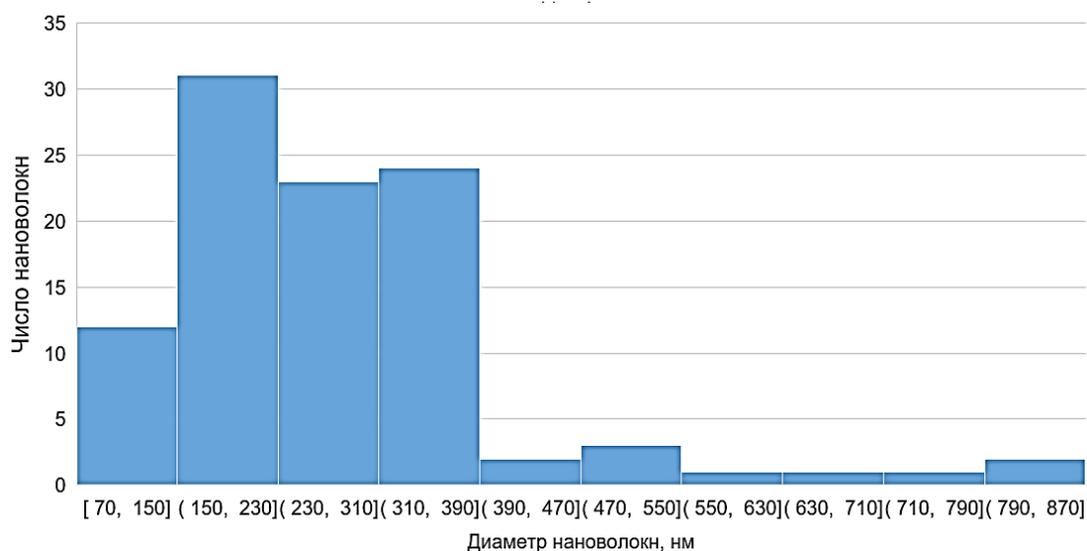


Рисунок 4 – Гистограмма распределения нановолокон по диаметру
Figure 4 – Histogram of the distribution of nanofibers diameters

в качестве подложки, так как в этом случае технология включает дополнительный этап переноса пленки и закрепления ее на подложке. Получения пленки непосредственно на силиконизированной бумаге оказалось невозможным, так как она впитывает влагу, в результате чего ее форма искажается. Кроме того, в этом случае возникают проблемы снятия пленки с бумаги из-за существенного повышения адгезии.

Для устранения указанных недостатков предложено исследовать процесс получения материалов с применением подложек, непосредственно на которых возможно получение растворимых пленок. На основании анализа различных вариантов предложено в качестве таких подложек использовать два вида поливинилхлоридной матовой пленки, отличающиеся способом фиксации – самоклеящаяся и статическая.

Данные подложки не впитывают воду, что позволяет наносить раствор непосредственно на них без использования матовой стеклянной поверхности и сократить временные затраты на производство готового материала. Благодаря матовой поверхности подложек раствор равномерно распределялся по всей их площади.

Самоклеящаяся пленка была выбрана с целью упрощения закрепления образца на барабане без использования дополнительных вспомогательных средств,

например, скотча. Однако на практике возникли проблемы с транспортировкой образца, так как при снятии его с барабана повторную защиту клеевой основы от попадания посторонних частиц из внешней среды было затруднительно осуществить. Использование статической матовой пленки было лишено данного недостатка. Перед нанесением раствора пленка фиксировалась на плоской поверхности, предварительно смоченной мыльным раствором.

Далее были проведены исследования по определению оптимальных режимов работы установки для электроформования при использовании подложек трех видов – силиконизированная пергаментная бумага (базовый образец), матовая самоклеящаяся пленка, матовая статическая пленка.

В качестве входных факторов эксперимента были выбраны следующие режимы работы оборудования:

1. Расстояние между эмиттером и коллектором, которое варьировалось в диапазоне от 6 до 10 см. В литературе отмечается, расстояние между капилляром и осадительным электродом-подложкой не должно быть слишком маленьким, чтобы предотвратить электрический пробой, но должно быть достаточно большим, чтобы волокно успевало высохнуть, пока оно достигнет коллектора [Матвеев и Афанасов, 2010]. Ранее было

установлено, что в указанном диапазоне расстояний достигается стабильный процесс электроформования волокон из растворов ПВС на установке Fluidnatek LE-50 (Рыклин, Демидова и Карнилов, 2024).

2. Потенциал эмиттера, регулируемый в пределах от 21 до 29 кВ, так как подача более высокого потенциала ограничивалась возможностью установки, а снижение потенциала приводило к существенному падению производительности установки.

Важно отметить, что применение традиционных подходов к планированию эксперимента в данном случае является невозможным, так как диапазон варьирования потенциала эмиттера существенно зависит от межэлектродного расстояния. При удалении эмиттера от коллектора необходимо повышать потенциал эмиттера. В связи с этим поиск рациональных режимов осуществлялся перебором различных сочетаний входных факторов с одновременным подбором потенциала коллектора таким образом, чтобы во всех вариантах процесс протекал стабильно. Для каждой из подложек количество исследованных сочетаний параметров работы оборудования составило 9.

Поиск оптимального сочетания потенциалов эмиттера и коллектора при определенном межэлектродном расстоянии осуществлялся следующим образом. Первоначально устанавливался расход раствора ПВС на уровне 1 мл/ч при минимальных значениях потенциалов и регистрировалось поведение капли раствора на кончике иглы: образование конуса Тейлора, его стабильность, рост или уменьшение размера капли. В процессе наблюдения определялось, происходило ли формование волокон; выявлялся характер полимерной струи, то есть оценивалась ее прерывистость. Затем напряжение в межэлектродном пространстве повышалось, и когда формирование струи прерывалось, что свидетельствовало о недостаточности подачи прядильного раствора, его расход увеличивали.

Стабильным считали такой процесс, при котором процесс электроформования происходит без срыва капли волокнообразующего раствора с конца иглы (Карнилов, Рыклин, 2024).

Результаты исследований

В результате проведенных исследований было выяснено, что увеличение расстояния между коллектором и эмиттером приводило к сильному снижению производительности установки, а также к необходимости повышению потенциалов эмиттера и коллектора для поддержа-

ния стабильности процесса.

В качестве критерия оптимальности режима работы установки был принят максимальный расход прядильного раствора, при котором процесс электроформования протекает стабильно.

В результате статистической обработки результатов с использованием программы Statistica for Windows были получены регрессионные модели расхода прядильного раствора при нанесении нановолокнистого покрытия с использованием подложек трех исследуемых видов:

– при использовании силиконизированной пергаментной бумаги:

$$y = 4,210 + 0,082 \cdot x_1 + 0,262 \cdot x_2 - 0,310 \cdot x_3 \quad (R^2 = 0,921), \quad (1)$$

– при использовании матовой поливинилхлоридной самоклеящейся пленки:

$$y = 2,107 + 0,104 \cdot x_1 - 0,408 \cdot x_3 \quad (R^2 = 0,872), \quad (2)$$

– при использовании матовой поливинилхлоридной статической пленки:

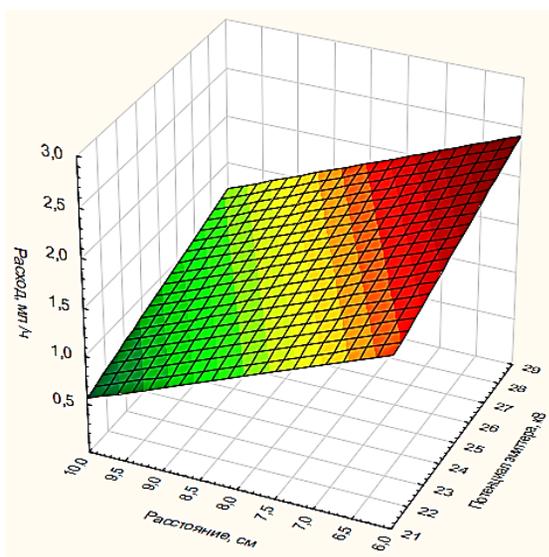
$$y = 1,504 + 0,096 \cdot x_1 - 0,275 \cdot x_3 \quad (R^2 = 0,924), \quad (3)$$

где y – расход прядильного раствора, мл/ч; x_1 – потенциал эмиттера, кВ; x_2 – потенциал коллектора, кВ; x_3 – расстояние между эмиттером и коллектором, см.

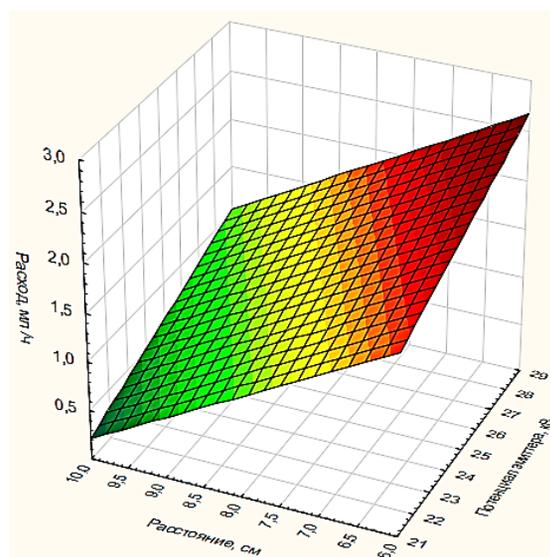
На рисунке 5 представлены графические интерпретации полученных зависимостей расхода от режимов процесса электроформования.

Анализ полученных результатов.

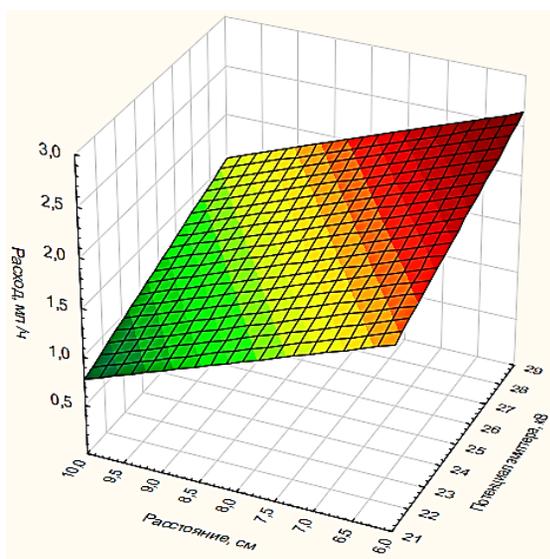
В результате анализа графических интерпретаций полученных зависимостей расхода прядильного раствора от режимов процесса электроформования можно сделать вывод о том, что увеличение расстояния между электродами приводит к снижению максимального расхода прядильного раствора. Этот факт объясняется снижением электростатической силы, действующей на каплю прядильного раствора на конце иглы. Для поддержания силы на требуемом уровне необходимо повышать напряжение в зоне электроформования, в первую очередь, за счет увеличения потенциала эмиттера. Потенциал коллектора оказывает существенно меньшее влияние на расход раствора, в связи с чем для моделей расхода, полученных при использовании в качестве



а



б (b)



в (c)

Рисунок 5 – Зависимость расхода прядильного раствора от режимов процесса электроформования при использовании разных подложек:
а – силиконизированная бумага, б – матовая самоклеящаяся плёнка, в – матовая статическая пленка
Figure 5 – Dependence of spinning solution consumption on the electrospinning process modes when using various substrates:
a – siliconized paper, b – matte self-adhesive film, c – matte static film

подложки поливинилхлоридной пленки, коэффициенты регрессии при x_2 оказались незначимыми.

Влияние потенциала эмиттера на расход прядильного раствора приблизительно одинаков при использовании всех исследованных видов подложек. Можно отметить, что при повышении потенциала на 1 кВ в исследуемом диапазоне изменения факторов эксперимента максимальный расход повышается приблизительно на 0,1 мл/ч.

В результате исследования были определены оптимальные режимы нанесения нановолокон из 14 %-го раствора поливинилового спирта с добавлением 1,4 % хлорида алюминия при использовании трёх различных видов подложек, которые представлены в таблице 1.

Можно отметить, что различия в максимальных значениях расхода прядильного раствора при сохранении стабильности процесса электроформования несущественны. Однако при использовании матовых поливинилхлоридных пленок оптимальный процесс электроформования достигается при уменьшении расстояния между эмиттером и коллектором с одновременным повышением разности их потенциалов.

Выводы

При выборе варианта подложки наиболее удобной с технологической точки зрения оказалась статическая поливинилхлоридная пленка, использование которой не вызывает затруднений, как при получении водорастворимого слоя материала, так и при нанесении на него нановолокнистого покрытия.

В результате проведенных исследований определено влияние вида подложки и режимов работы оборудования на стабильность процесса нанесения нановолокнистого покрытия на водорастворимую пленку. Установлены оптимальные параметры процесса электроформования, обеспечивающие максимальный расход прядильного раствора при использовании каждой из исследованных подложек.

Выявлено, что в случае использования матовых поливинилхлоридных пленок оптимальный процесс электроформования достигается при уменьшении расстояния между эмиттером и коллектором с одновременным повышением разности их потенциалов по сравнению с вариантом применения в качестве подложки силиконизированной бумаги.

Таблица 1 – Оптимальные параметры процесса электроформования

Table 1 – Optimal parameters for the electrospinning process

	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Материал подложки,	Силиконизированная пергаментная бумага	Матовая самоклеящаяся плёнка	Статическая матовая плёнка
Расход, мл/ч	2,6	2,5	2,4
Расстояние между эмиттером и коллектором, см	8	6	6
Потенциал эмиттера, кВ	29	29	29
Потенциал коллектора, кВ	- 7	- 9	- 9

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Алфимов, М.В. [2009]. Нанотехнологии: определения и классификация. *Российские нанотехнологии*, том № 5 (7–8), с. 3–15.

Демидова, М.А., Новицкая, В.А., Рыклин, Д.Б. и Гвоздев, С.В. [2021]. Получение гемостатических пленок методом электроформования. *Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX)*, том № 1, с. 206–211.

Демидова, М.А. и Рыклин, Д.Б. [2022]. Технология получения наноструктурных изделий из электроформованных нетканых материалов. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, том № 2 (43),

с. 19–32.

Карнилов, М.С. и Рыклин, Д.Б. (2024). Исследование влияния режимов процесса электроформования на морфологию получаемых материалов. *Национальная (с международным участием) молодёжная научно-техническая конференция «МОЛОДЫЕ УЧЕНЫЕ – РАЗВИТИЮ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ» (ПОИСК – 2024)*, с. 165–167.

Китаев, А.В., Айрапетян, А.Т. и Турлай, Д.М. (2016). Спаечная болезнь брюшины в эксперименте. *Профилактика и лечение. Колопроктология*, том № 1, с. 118.

Кобелевская, Н.В. (2014). Современные аспекты лекарственной гемостатической терапии. *Вестник последипломного медицинского образования*, том № 2, с. 5–10.

Матвеев, А.Т. и Афанасов, И.М. (2010). *Получение нановолокон методом электроформования*. Москва: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Российская Федерация.

Плотникова, Е.Ю. (2015). Актуальность антацидов и альгинатов в лечении заболеваний органов пищеварения. *Лечащий врач*, том № 2, с. 58–64.

Рыклин, Д.Б., Демидова, М.А. и Карнилов, М.С. (2024). Влияние межэлектродного расстояния на морфологию электроформованных нановолокнистых материалов. *Косыгинский Форум. Сборник научных трудов*, том № 1, с. 283–287.

Рыклин, Д.Б., Ясинская, Н.Н., Демидова, М.А. и Азарченко, В.М. (2021). Получение многослойных нановолокнистых материалов методом электроформования. *Материалы международного научнотехнического симпозиума «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности» в рамках 3-го Международного Косыгинского форума*, том № 2, с. 168–172.

Самарцев, В.А., Кузнецова, М.В., Гаврилов, В.А., Кузнецова, М.П. и Паршаков, А.А. (2017). Противоспаечные барьеры в абдоминальной хирургии: современное состояние проблемы. *Пермский медицинский журнал*, том № 2 (34), с. 87–93.

Смирнов, М.М. (2021). Разработка способа получения микроволокнистых композиционных нетканых материалов методом электроформования: *дис. канд. техн. наук: 05.19.02*, с. 120.

Товмаш, А.В. (2005). Использование метода электроформования для получения микроволокнистых структур из водного раствора поливинилового спирта: *дис. канд. физ.-мат. наук: 02.00.04*, с. 148.

Филатов, Ю. Н. (1998). Электроформирование волокнистых материалов: ЭФВ-процесс: *дис. докт. хим. наук: 02.00.04*, с. 297.

Хубутия, А.Ш., Бабич, А.В., Темнов, А.А., Ботин, А.С., Попова, Т.С., Склифас, А.Н. и Науменко, В.Ю. (2012). Применение наноматериалов в медицине. Часть 1. *Российский медицинский журнал*, том 18 (5), с. 53–56.

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

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

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

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

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

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

REFERENCES

Alfimov, M.V. (2009). Nanotechnology: definitions and classification [Nanotekhnologii: opredeleniya i klassifikaciya]. *Rossijskie nanotekhnologii = Russian nanotechnologies*, vol. 5, no. 7-8, pp. 3-15 [In Russian].

Demidova, M.A., Novitskaya V.A., Ryklin, D.B. and Gvozdev, S.V. (2021). Production of hemostatic films by electrospinning [Poluchenie gemostaticeskikh plenok metodom elektroformovaniya]. *Fizika voloknistyh materialov: struktura, svoystva, naukoemkie tekhnologii i materialy (SMARTEX) = Physics of fibrous materials: structure, properties, science-intensive technologies and materials (SMARTEX)*, vol. 1, pp. 206-211 [In Russian].

Demidova, M.A. and Ryklin, D.B. (2022). Technology for producing nanostructured products from electrospun nonwoven materials [Tekhnologiya polucheniya nanostrukturnyh izdelij iz elektroformovannyh netkanyh materialov]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, vol. 2, no. 43, pp. 19-32 [In Russian].

Karnilov, M.S. and Ryklin, D.B. (2024). Study of the influence of electrospinning process modes on the morphology of the resulting materials [Issledovanie vliyaniya rezhimov processa elektroformovaniya na morfologiyu poluchaemykh materialov]. *Nacional'naya (s mezhdunarodnym uchastiem molodyozhnaya nauchno-tekhnicheskaya konferenciya «MOLODYE UCHENYE – RAZVITIYU NACIONAL'NOJ TEKHNOLIGICHESKOJ INICIATIVY» (POISK – 2024) = National (with international participation) youth scientific and technical conference "YOUNG SCIENTISTS – DEVELOPMENT OF THE NATIONAL TECHNOLOGICAL INITIATIVE" (SEARCH – 2024)*, pp. 165-167 [In Russian].

Kitaev, A.V., Airapetyan, A.T. and Turlai, D.M. (2016). Adhesive disease of the peritoneum in the experiment [Spaechnaya bolezn' bryushiny v eksperimente]. *Profilaktika i lechenie. Koloproktologiya = Prevention and treatment. Coloproctology*, vol. 1, p. 118 [In Russian].

Kobelevskaya, N.V. (2014). Modern aspects of drug hemostatic therapy [Sovremennye aspekty lekarstvennoj gemostaticeskoy terapii]. *Vestnik posle diplomnogo medicinskogo obrazovaniya = Bulletin of postgraduate medical education*, vol. 2, pp. 5-10 [In Russian].

Matveev, A.T. and Afanasov, I.M. (2010). *Polucheniye nanovolokon metodom elektroformovaniya* [Production of nanofibers by electrospinning]. Moscow: Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Russian Federation [In Russian].

Plotnikova, E.Yu. (2015). Relevance of antacids and alginates in the treatment of diseases of the digestive system [Aktual'nost' antacidov i al'ginatov v lechenii zabolevanij organov pishchevareniya]. *Lechashchij vrach = Attending physician*, vol. 2, pp. 58-64 [In Russian].

Ryklin, D.B., Demidova, M.A. and Karnilov, M.S. (2024). The effect of interelectrode distance on the morphology of electrospun nanofibrous materials [Vliyaniye mezhelektrodnogo rasstoyaniya na morfologiyu elektroformovannykh nanovoloknistyh materialov]. *Kosygin'skij Forum. Sbornik nauchnykh trudov = Kosygin Forum. Collection of scientific papers*, vol. 1, pp. 283-287 [In Russian].

Ryklin, D.B., Yasinskaya, N.N., Demidova, M.A. and Azarchenko, V.M. (2021). Production of multilayer nanofibrous materials by electrospinning [Poluchenie mnogoslojnykh nanovoloknistyh materialov metodom elektroformovaniya]. *Materialy mezhdunarodnogo nauchnotekhnicheskogo simpoziuma «Povyshenie energoresursoeffektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti processov i apparatov himicheskoy i smezhnykh otraslej promyshlennosti» v ramkah 3-go Mezhdunarodnogo Kosygin'skogo foruma = Proceedings of the international scientific and technical symposium "Improving the energy and resource efficiency and environmental safety of processes and equipment in the chemical and related industries" within the framework of the 3rd International Kosygin Forum*, vol. 2, pp. 168-172 [In Russian].

Samartsev, V.A., Kuznetsova, M.V., Gavrilov, V.A., Kuznetsova, M.P. and Parshakov, A.A. (2017). Anti-adhesion barriers in abdominal surgery: current state of the problem [Protivospaechnye bar'ery v abdominal'noj hirurgii: sovremennoe sostoyaniye problem]. *Permskij medicinskij zhurnal = Perm Medical Journal*, vol. 2, no. 34, pp. 87-93 [In Russian].

Smirnov, M.M. [2021]. Development of a method for producing microfibrous composite nonwoven materials by electrospinning: *dis. Cand. of Engineering Sciences: 05.19.02*, p. 120 [In Russian].

Tovmash, A.V. [2005]. Use of the electrospinning method to obtain microfibrous structures from an aqueous solution of polyvinyl alcohol: *dis. Cand. of Phys.-Math. sciences: 02.00.04*, p. 148 [In Russian].

Filatov, Yu.N. [1998]. Electroforming of fibrous materials: EFV-process: *dis. doc. chem. sciences: 02.00.04*, p. 297 [In Russian].

Khubutia, A.Sh., Babich, A.V., Temnov, A.A., Botin, A.S., Popova, T.S., Sklifas, A.N. and Naumenko, V.Yu. [2012]. Application of nanomaterials in medicine. part 1 [Primenenie nanomaterialov v medicine. chast' 1]. *Rossijskij medicinskij zhurnal = Russian Medical Journal*, vol. 18, no. 5, pp. 53–56 [In Russian].

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

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

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

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

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

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

Информация об авторах

Information about the authors

Карнилов Михаил Сергеевич

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

E-mail: alphamiha@mail.ru

Рыклин Дмитрий Борисович

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

E-mail: ryklin-db@mail.ru

Mikhail S. Karnilov

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

E-mail: alphamiha@mail.ru

Dzmitry B. Ryklin

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

E-mail: ryklin-db@mail.ru

Получение и исследование свойств поли[акрилонитрил–со–2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты] как полимерной основы волокнистых ионообменных материалов

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

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

Аннотация. С целью разработки технологии получения волокнистых ионитов синтезированы модельные образцы ионогенных сополимеров акрилонитрила (АН) и 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислоты (АМПС) в диметилсульфоукисде (ДМСО) при содержании кислотного сомономера (КС) в реакционной смеси (РС) 0, 20, 25, 30 и 40 % (от массы мономеров) и на их основе получены ионообменные материалы. Оценены кинетические и макрокинетические параметры свободнорадикального процесса синтеза сополимеров АН и АМПС (при содержании АМПС до 30 % (от массы мономеров в РС) при температуре 75 °С. Определены значения их характеристической вязкости. Показано, что содержание КС в исходной реакционной смеси не оказывает существенного влияния на молекулярно-массовые характеристики полученных сополимеров.

Оценена, в сопоставлении, способность поли[АН–со–АМПС], синтезированных при содержании АМПС в РС 25, 30 и 40 % (от массы мономеров) сорбировать ионы s- и d-металлов из 0,1 н растворов сорбатов. В качестве таковых использованы соли цинка, магния, никеля, кальция. Установлен эффект сверхэквивалентной сорбции ионов исследованных металлов, в максимальной степени проявляющийся в случае ионов Zn^{2+} и Mg^{2+} . Предполагается, что он может быть обусловлен взаимодействием ионов металлов с азотсодержащими группами волокнуобразующего ионогенного сополимера АН и АМПС по донорно-акцепторному механизму.

Полученные данные позволяют рассматривать возможность создания на основе поли[АН–со–АМПС] высокоэффективных волокнистых сорбентов.

Ключевые слова: акрилонитрил, 2-акриламид-2-метилпропансульфоукислота, синтез, сополимер, ионит, сорбция, статическая обменная емкость.

Информация о статье: поступила 20 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).

Preparation and study of the properties of poly[acrylonitrile–co–2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid] as a polymer base for fibrous ion-exchange materials

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

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

Abstract. In order to develop a technology for producing fibrous ion exchangers, model samples of ionogenic copolymers of acrylonitrile (AN) and 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid (AMPS) in dimethyl sulfoxide (DMSO) were synthesized with an acid monomer (AC) content in the reaction mixture (RM) of 0, 20, 25, 30 and 40 % (from the mass of monomers) and ion exchange materials were obtained on their basis. The kinetic and macrokinetic parameters of the free-radical process of synthesis of AN and AMPS copolymers (with an AMPS content of up to 30 % (of the monomer weight in RM) at a temperature of 75 °C were estimated. The values of their intrinsic viscosity were determined. It was shown that the content of AC in the initial reaction mixture did not significantly affect the molecular weight characteristics of the obtained copolymers.

The ability of poly[AN–co–AMPS] synthesized with an AMPS content of 25, 30, and 40 % (from the mass of monomers) in RM to sorb ions of s- and d-metals from 0.1 N sorbate solutions was estimated and compared. Zinc, magnesium, nickel, and calcium

salts were used as such. The effect of superequivalent sorption of ions of the studied metals was determined, which was manifested to the maximum extent in the case of Zn^{2+} and Mg^{2+} ions. It is assumed that it may be caused by the interaction of metal ions with nitrogen-containing groups of the fiber-forming ionogenic copolymer AN and AMPS by the donor-acceptor mechanism.

The obtained data allow us to consider the possibility of creating highly effective fibrous sorbents based on poly[AN-co-AMPS].

Keywords: acrylonitrile, 2-acrylamide-2-methylpropanesulfonic acid, synthesis, copolymer, ion exchanger, sorption, static exchange capacity.

Article info: received September 20, 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

В настоящее время процессы ионного обмена находят широкое применение в различных областях промышленности. Их применение там, где необходимо удалять и (или) разделять ионы различной химической природы, делает сорбцию оптимальным (а иногда единственным) инструментом для таких отраслей, как фармацевтика, металлургия, атомная энергетика, химическая промышленность и других. К основным преимуществам сорбционных процессов можно отнести селективное извлечение (или удаление) ионов из водных сред, получение продуктов высокой чистоты, возможность регенерации (в том числе рекуперации) различных химических веществ и др.

Ионный обмен представляет собой обратимую химическую реакцию, в которой целевой ион из раствора заменяется эквивалентным количеством другого иона того же заряда, присоединенного к иммобилизованной твердой фазе [SenGupta, A.K., 2007]. Морфология иммобилизованной твердой фазы, называемой ионообменником (или ионитом), представляет собой сферу диаметром 75–1000 мкм, мембрану (толщиной 100–10 000 мкм) или композитный лист (толщиной 500–2000 мкм). Морфология этих материалов имеет ряд физико-химических недостатков, которые ограничивают их использование, в том числе невозможность использования в реакторах с сильновзвешенными твердыми частицами из-за закупоривания пор и ограничения массообмена. Кроме того, часто используемой формой частиц ионитов является сфера. В этом случае материал уязвим в отношении давления, оказываемого на него со стороны движущихся потоков во время «работы», что ведет к повреждению ионита [Chiu, H.T. et al., 2011]. Эти ограниче-

ния могут быть преодолены ионообменными волокнами благодаря их анизотропной форме.

В предыдущие десятилетия был предложен ряд ионообменных волокнистых материалов. Так, разработаны хелатные волокна с различными полимерными основами (например, на основе синтетических или натуральных волокон) и функциональными группами (например, амино-, тио-, оксо-, карбоксильные и др. группы) [Shin, D.H. et al., 2004]. По сравнению с ионообменными смолами ионообменные волокна имеют ряд явных преимуществ, в том числе: более высокая скорость процесса сорбции (из-за меньшей длины пути ионов); способность к регенерации безвредными реагентами благодаря размещению функциональных групп на поверхности или вблизи нее [Greenleaf, J.E. et al., 2006]. Ионообменные волокна также можно использовать в реакторах с взвешенными твердыми частицами, что невозможно со смолами, или вводить в фильтрующие материалы или ткани различного назначения. Другие преимущества заключаются в возможности легкого сжатия или разрыхления волокнистых материалов в соответствии с эксплуатационными требованиями, а также гибкость в использовании или при удалении растворимых загрязнителей. Ионообменные волокна также имеют уникальное преимущество, по сравнению с гранульными ионитами, благодаря возможности их переработки в разнообразные текстильные формы [Matsumoto, H. et al., 2006].

Одним из направлений работ в области ионитов является создание волокнистых ионообменных материалов на основе сополимеров акрилонитрила (АН) с сомономерами различной химической природы. Их важными преимуществами являются возможность широкой вариативности химической структуры, устойчивость основ-

ной полимерной цепи к гидролитической деструкции, чрезвычайная устойчивость к микробиологическому воздействию [Чикунская, В.М. и др., 2022; Chiu, H.T., 2011], а также возможность изготовления ионообменного материала в различных формах: гранулы, волокнистые материалы (волокна, нити, тканые и нетканые материалы), пленки, разделительные мембраны. Разнообразие форм дает возможность широко варьировать конструктивное оформление ионообменных процессов [Вольф, Л.А., 1980].

Гидрогели, гидрофильные, сшитые полимерные материалы, обладающие отличной водопоглощающей способностью, широко используются для удаления ионов тяжелых металлов. Полимеры, содержащие атомы-доноры электронов, такие как N, S, O и P, способны к образованию координационных связей с тяжелыми металлами.

В качестве сомономера, придающего полимерным материалам вышеперечисленные свойства, широкое применение нашла 2-акриламид-2-метилпропансульфокислота (АМПС). Так, полиАМПС обладает интересными свойствами, которые могут обусловить множество вариантов ее применения. Такие свойства обусловлены присутствием в его химической структуре сильно ионизируемых сульфатных групп, его pH-чувствительностью и особым «поведением» при набухании [Ahmadian-Alam, L., 2016; Ganguly, S., 2016]. Полимеры, содержащие АМПС, успешно применяются в топливных элементах с полиэлектролитными мембранами [Çavuş, S., 2017], в качестве каталитических мембран для производства биодизельного топлива [Corzo-González, Z. et al., 2017], а также в медицине благодаря их малой токсичности, гидролитической стабильности и антимикробной активности в отношении микроорганизмов [Benkhaled, B.T. et al., 2018; Muñoz-Bonilla, A. et al., 2018]. Кроме того, они используются в широком спектре промышленных продуктов, таких как косметические средства, покрытия, клеи [Williams, P.A., 2007].

Объекты, методы и средства исследования

С целью варьирования композиционного состава сорбционно-активных материалов на основе сополимеров АН, в ходе их синтеза в реакционную среду вводили АМПС от 20 до 30 % (от общей массы сомономеров). За основу условий проведения синтеза были выбраны следующие параметры процесса получения волокнообразующих сополимеров АН. Общая концентрация сомономеров составляла 35 % (от массы реакционной смеси

(РС)). В качестве инициатора свободно-радикальной сополимеризации использовали динитрил азодиоомаляную кислоту (ДАК) в количестве 0,08 % (от массы РС) [Щербина, Л.А. и др., 2022]. Исходя из ранее полученной информации [Щербина, Л.А. и др., 2022], предполагалось, что данная дозировка ДАК должна обеспечить характеристическую вязкость волокнообразующих сополимеров АН, синтезируемых в диметилсульфоксиде (ДМСО) при $(75 \pm 0,1)$ °С, на уровне не менее 1,64 дл/г, что позволит обеспечить хорошую прядимость прядильных растворов на основе поли[АН-со-АМПС], а также свойства волокон, приемлемые для текстильной переработки и последующей эксплуатации изделий на их основе. В качестве растворителя использовали ДМСО, как имеющий ряд преимуществ перед используемым в производстве полиакрилонитрильных волокон диметилформамидом (ДФ). Максимальная продолжительность синтеза ограничивалась возрастанием вязкости реакционной массы в результате накопления сополимера в реакционной среде. В качестве объекта сопоставления в данной серии экспериментов был выбран образец гомополиакрилонитрила (гомоПАН).

Выделение после завершения синтеза сополимеров на основе АН и АМПС осуществляли путем выливания РС тонкой струей в осадитель. В качестве осадителя была использована дистиллированная вода. Выделенные образцы сополимеров промывали осадителем несколько раз до тех пор, пока содержание растворителя в промывной жидкости составляло менее 0,2 % (масс.). Содержание растворителя в промывной жидкости определяли хроматографическим методом [Чеголи, А.С. и др., 1982]. Сушку промытых образцов сополимеров осуществляли до постоянной массы при температурах, не превышающих 60 °С. Гранулирование синтезированных образцов осуществляли механическим методом. Для работы отбирали гранулы размером $(5 \pm 0,5)$ мм. Классификацию гранул по размерам осуществляли с помощью сит.

Для оценки молекулярно-массовых характеристик синтезированных сополимеров АН был использован метод капиллярной вискозиметрии [Геллер, Б.Э. и др., 2016].

Оценку сорбционно-активных свойств синтезированных ионитов проводили в полудинамическом режиме путем последовательных погружений набухшего ионита в растворы сорбатов. Такая ячеистая модель позволяет имитировать гидродинамический режим непрерывно действующего аппарата вытеснения, заполненного ионообменным материалом. В качестве сорбата были

использованы 0,1 н растворы CaCl_2 , MgSO_4 , NiSO_4 и ZnSO_4 . При экспериментальном определении статической обменной емкости (СОЕ) учитывалось то, что атомы азота в кислой среде могут протонироваться, что приводит к связыванию HCl при подготовке ионита на основе поли[АН-со-АМПС] к эксперименту. Так как это взаимодействие протекает обратимо, то связанную HCl удаляли длительной проточной промывкой ионообменного материала дистиллированной водой. Только после этого проводилось определение СОЕ.

Для определения количества ионогенных групп синтезированных поли[АН-со-АМПС] оценивали предельные значения СОЕ по ионам Na^+ . Для этого навеску сорбента в H^+ -форме массой 1 г (в пересчете на сухой материал) заливали 100 см^3 раствора, содержащего $0,1 \text{ моль/дм}^3 \text{ NaOH}$, и оставляли на 2 суток. Емкость ионита определяли титрованием избытка щелочи, оставшейся после реакции нейтрализации, $0,1 \text{ н}$ раствором HCl .

Для определения количества сорбированных ионов металла образец (предварительно набухшего в дистиллированной воде) ионита в H^+ -форме заливали 100 см^3 раствора сорбата. После наступления равнове-

сия определяли равновесные значения pH и концентрацию ионов металла в растворе. Затем ионит извлекали из этого раствора, переносили в новый сосуд и заливали исходным раствором сорбата (второе погружение) в количестве 100 см^3 ; после установления равновесия снова измеряли вышеуказанные параметры системы. Аналогично проводили третье погружение. Концентрацию ионов металла в растворах определяли методом комплексонометрического титрования в присутствии аммиачного буфера и индикатора эриохром черный Т

Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

Данные, иллюстрирующие динамику синтеза в диметилсульфоксиде сополимеров АН с АМПС (рисунок 1), не позволяют выявить принципиального влияния варьирования содержания ионогенного сомономера в РС (в диапазоне от 20 до 30 % (от массы мономеров)) на кинетические параметры этого процесса. Можно отметить, что синтез гомоАН активируется на более ранних этапах данного процесса, однако протекает менее интенсивно, чем синтез сополимеров АН и ионогенного сомономера.

С целью анализа и обсуждения полученных результатов данные по динамике синтеза гомоАН и поли[АН-со-АМПС] в ДМСО были аппроксимированы следующей зависимостью:

$$x = b_0 + b_1 \cdot t^a, \quad (1)$$

где x – брутто степень превращения мономеров в сополимер; b_0 , b_1 и a – коэффициенты эмпирической зависимости (аппроксимационной модели); τ – продолжительность процесса, мин.

В таблице 1 представлены параметры эмпирических аппроксимационных зависимостей, которые могут быть использованы для моделирования динамики синтеза гомоАН, поли[АН-со-АМПС] в ДМСО при $75 \text{ }^\circ\text{C}$.

Путем ближней экстраполяции зависимости (1) проведена оценка значений индукционного периода и максимальной степени превращения мономеров за 50 и 100 минут синтеза, а также значений скорости, константы скорости, порядка реакции синтеза поли[АН-со-АМПС] в ДМСО (таблица 2).

Как следует из данных, представленных в таблице 2, индукционный период процесса синтеза сополимеров на основе АН, оцененный путем ближней экстраполяции моделей к нулевой степени превращения мономеров,

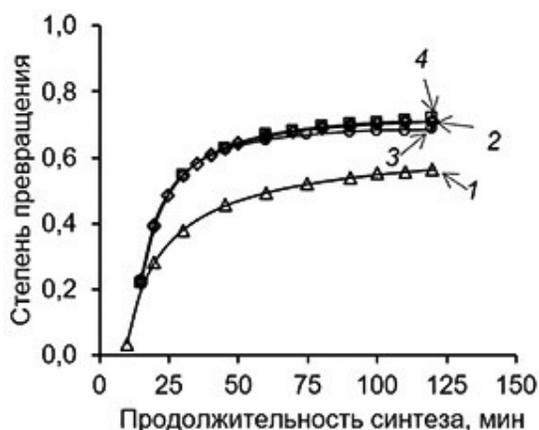


Рисунок 1 – Динамика синтеза поли[АН-со-АМПС] при $75 \text{ }^\circ\text{C}$ в ДМСО при содержании АМПС в исходной мономерной смеси, % (от массы мономеров):

1 – 0; 2 – 20; 3 – 25; 4 – 30

Figure 1 – Dynamics of the synthesis of poly[АН-со-АМПС] at $75 \text{ }^\circ\text{C}$ in DMSO with the content of АМПС in the initial monomer mixture, % (by weight of comonomers):

1 – 0; 2 – 20; 3 – 25; 4 – 30

т. е. до пересечения с осью абсцисс, в определенной мере зависит от мономерного состава РС. Процесс сополимеризации характеризуется значениями индукционного периода, которые увеличиваются с 9,3 минут (в случае гомоПАН) до почти 12 минут при введении в реакционную среду АМПС в количестве от 20 до 30 % (от массы мономеров). Скорость образования гомоПАН в ДМСО меньше скорости синтеза ионогенных сополимеров на основе АН не менее, чем на 30 %. В рамках реализованных в работе составов мономерной смеси скорость сополимеризации АН и АМПС мало зависит от содержания ионогенного сомономера в РС: от $7,5 \cdot 10^{-3}$ до $8,8 \cdot 10^{-3}$ моль/(дм³·с). Что касается кинетического порядка реакции синтеза поли[АН-со-АМПС], то введение в

РС КС снижает порядок реакции с 3,6 (при синтезе гомоПАН) до 2,3 при синтезе сополимеров. Достоверного влияния на данный показатель варьирования содержания ионогенных сомономеров в диапазоне от 20 до 30 % (от массы мономеров) в РС при синтезе в ДМСО также не установлено. Предполагается, что изменение порядка реакции может свидетельствовать об изменении механизма химического процесса. По всей видимости, большие значения скорости реакции при меньших значениях порядка реакции компенсируются более высокими значениями константы скорости реакции.

Достижимая за 50 минут степень превращения мономеров при синтезе гомоПАН составляет около 0,47. Это меньше, чем в случае сополимеризации АН и АМПС (ри-

Таблица 1 – Параметры эмпирических зависимостей вида $x = b_0 + b_1 \cdot t^\alpha$, моделирующих динамику синтеза сополимеров на основе АН и АМПС в ДМСО при 75 °С

Table 1 – Parameters of empirical dependencies of the form $x = b_0 + b_1 \cdot t^\alpha$, modeling the dynamics of the synthesis of copolymers based on AN, AMPS in DMSO at 75 °C

Параметры модели	Содержание АМПС в мономерной смеси, % (от массы мономеров)			
	0	20	25	30
b_0	0,68	0,73	0,70	0,75
b_1	- 3,2	- 29,1	- 47,2	- 23,3
α	- 0,7	- 1,5	- 1,7	- 1,4
R	- 0,97	- 0,97	- 0,97	- 0,98
S_{ad}	4,1E-02	3,8E-02	3,9E-02	3,25E-02

Таблица 2 – Интегральные параметры брутто процесса синтеза полимеров на основе АН и АМПС в ДМСО при 75 °С

Table 2 – Integral gross parameters of the synthesis process of polymers based on AN and AMPS in DMSO at 75 °C

Параметры модели	Содержание АМПС в мономерной смеси, % (от массы мономеров)			
	0	20	25	30
Индукционный период, мин	9,3	11,5	11,8	11,7
Скорость реакции, моль/(дм ³ ·с)·10 ³	5,13	8,63	8,88	7,46
Кажущаяся константа скорости реакции, с ⁻¹ ·10 ⁴	0,07	1,34	1,57	1,69
Кажущийся порядок реакции	3,6	2,4	2,3	2,3
Степень превращения мономеров за 50 мин	0,47	0,64	0,63	0,65
Степень превращения мономеров за 80 мин	0,53	0,69	0,67	0,69
Степень превращения мономеров за 120 мин	0,56	0,71	0,68	0,71
Характеристическая вязкость, дл/г	1,24	1,85	1,82	1,84

сунок 2). В рассматриваемых случаях значения степени превращения сомономеров находятся в диапазоне от 0,6 до 0,7.

Важнейшим показателем высокомолекулярных соединений, влияющим на процесс нитеобразования и физико-механические свойства волокнистых материалов, является их молекулярная масса. В качестве показателя молекулярной массы в производственной практике принято использовать характеристическую вязкость, $[\eta]$, определяемую на основе изучения концентрационной зависимости приведенной вязкости ($\eta_{уд}/C$) их разбавленных растворов [Геллер, Б.Э., 2016].

Принято, что характеристическая вязкость сополимеров АН связана с молекулярной массой эмпирической зависимостью Марка-Хаувинка-Флори ($[\eta] = K_{\eta} M_{\nu}^a$), где K_{η} и a зависят от выбранной системы «полимер – растворитель».

По причине отсутствия в научно-технической литературе значений K_{η} и a для сополимеров АН и АМПС различного композиционного состава молекулярную массу синтезированных образцов оценивали посредством определения значений характеристической вязкости

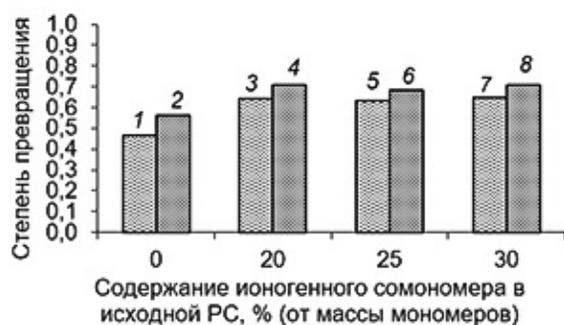


Рисунок 2 – Степень превращения мономеров при синтезе гомоПАН (1, 2) и поли[АН-со-АМПС] (3–8) при 75 °С в ДМСО за 50 (1, 3, 5, 7) минут и при максимальной продолжительности (2, 4, 6, 8) синтеза

Figure 2 – The degree of monomer conversion during the synthesis of homoPAN (1, 2) and poly[AN-co-AMPS] (3–8) at 75 °C in DMSO for 50 (1, 3, 5, 7) minutes and at the maximum duration (2, 4, 6, 8) of synthesis

(рисунок 3), что является общепринятой практикой.

Установлено, что характеристическая вязкость исследуемых модельных образцов сополимеров на основе АН и АМПС больше, чем у гомоПАН. Данное явление может быть объяснено как большими значениями молекулярной массы данных сополимеров, так и термодинамически большим сродством в системе «полимер – растворитель». Последнее может приводить к увеличению гидродинамического объема молекулярных клубков, что, соответственно, проявляется в больших значениях характеристической вязкости.

Априори можно утверждать, что увеличение в первичной структуре сополимера звеньев АМПС (следовательно, увеличение количества ионообменных групп) должно приводить к увеличению количества сорбируемых ионов. Для всех изученных ионитов теоретически рассчитанные и экспериментально определенные величины СОЕ представлены в таблице 3.

Данные о количестве сорбированных ионов Zn^{2+} полученными ионитами при первом, втором и третьем погружении представлены на рисунке 4. Зависимость динамики изменения рН растворов сульфата цинка от продолжительности сорбции приведена на рисунке 5.

Исходя из данных, проиллюстрированных на рисунке 4, можно отметить, что основное количество ионов цинка сорбируется при первом погружении, что под-

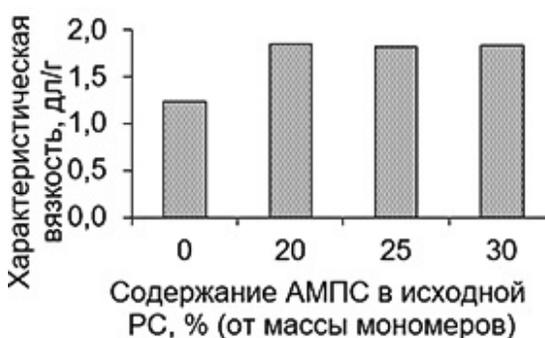


Рисунок 3 – Характеристическая вязкость гомоПАН и поли[АН-со-АМПС], синтезированных в ДМСО

Figure 3 – Intrinsic viscosity of homoPAN and poly[AN-co-AMPS] synthesized in DMSO

Таблица 3 – Значения статической обменной емкости ионитов на основе поли[АН-со-АМПС]

Table 3 – Static exchange capacity values of the ion exchangers based on poly[AN-co-AMPS]

Содержание АМПС в исходной РС, % (от массы мономеров в РС)	СОЕ, ожидаемое исходя из мономерного состава РС, ммоль-экв/г	Фактическая СОЕ по ионам натрия, ммоль-экв/г
25	1,21	1,42
30	1,45	1,45
40	1,93	1,61

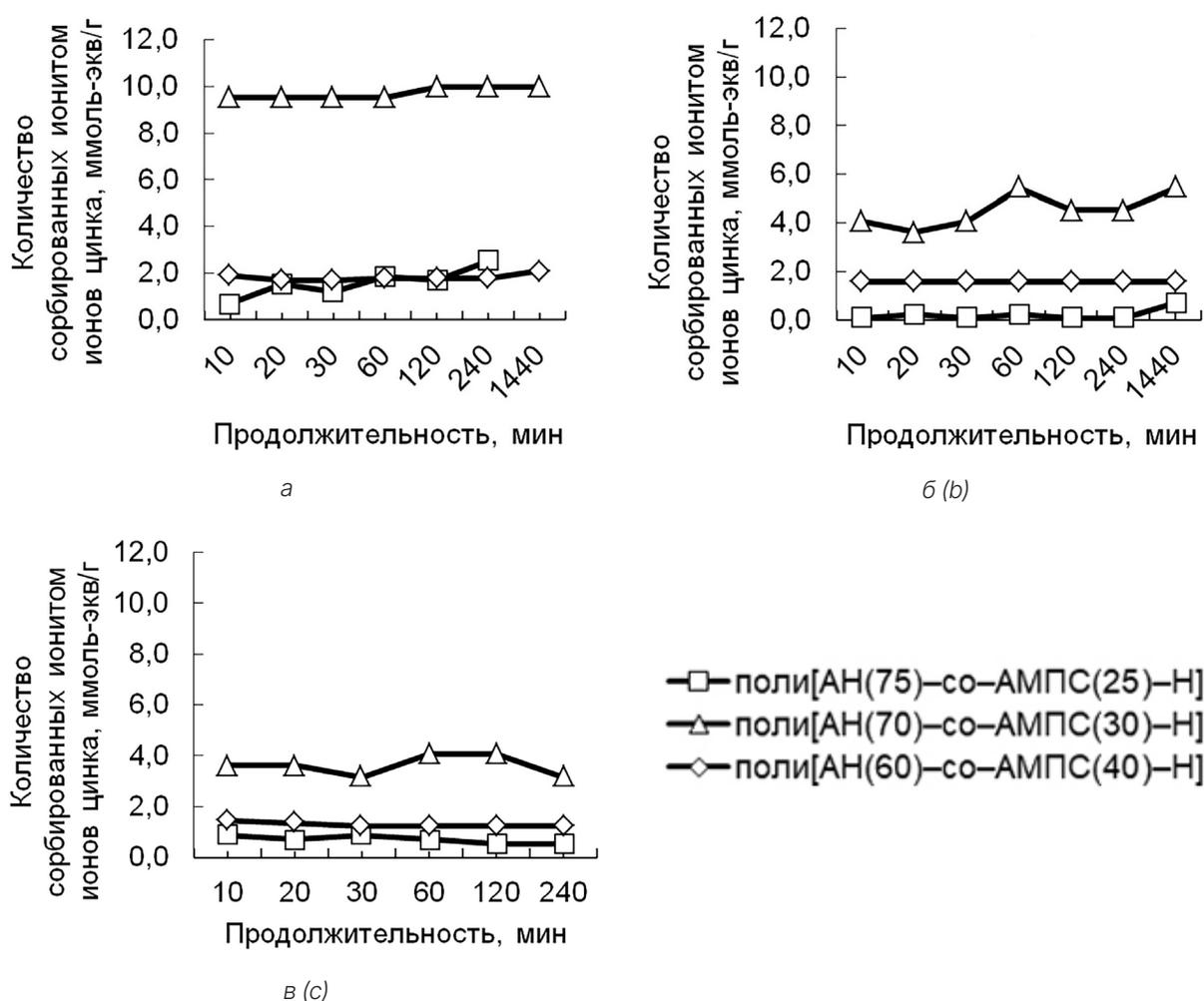


Рисунок 4 – Динамика изменения количества сорбированных ионов Zn²⁺ материалами на основе поли[АН-со-АМПС] из 0,1 н раствора ZnSO₄ при первом (а), втором (б) и третьем (в) погружении
 Figure 4 – Dynamics of changes the amount of sorbed Zn²⁺ ions by materials based on poly[AN-co-AMPS] from a 0,1 N ZnSO₄ solution at the first (a), second (b) and third (c) immersion

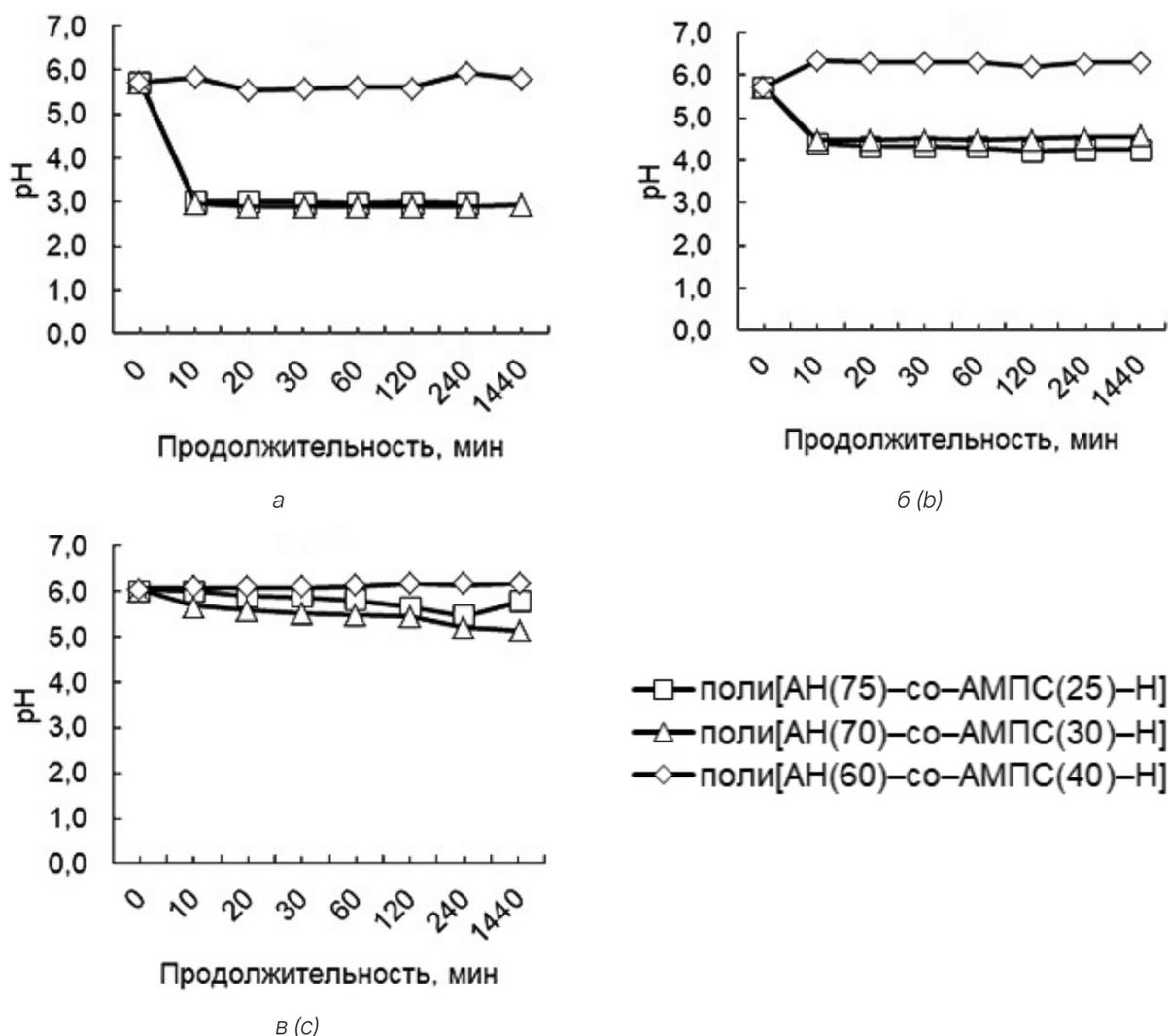


Рисунок 5 – Динамика изменения pH раствора в ходе эксперимента по изучению сорбции ионов Zn^{2+} материалами на основе поли[АН–со–АМПС] из 0,1 н раствора $ZnSO_4$ при первом (а), втором (б) и третьем (в) погружении

Figure 5 – Dynamics of changes in solution pH during an experiment to study the sorption of Zn^{2+} ions by materials based on poly[AN–co–AMPS] from a 0,1 N $ZnSO_4$ solution at the first (a), second (b) and third (c) immersion

тверждают данные по изменению pH раствора (рисунок 5). При этом можно отметить наличие эффекта сверхэквивалентной сорбции ионов Zn^{2+} уже при первом погружении. Наибольшее количество сорбированных ионов отмечено в случае ионита с содержанием АМПС 30 % (от массы мономеров). Принимая во внимание тот факт, что pH раствора практически не изменяется, а сорбция

ионов протекает, можно предположить, что этот процесс обусловлен также необменными взаимодействиями ионов цинка с азотсодержащими группами полимерного субстрата по донорно-акцепторному механизму и (или) «инклюзией» ионов металлов в процессе «усадки» ионита в растворе сорбата.

Обобщенные данные о количестве сорбированных за 3 погружения ионов металлов (Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} и Ni^{2+}) представлены на рисунке 6.

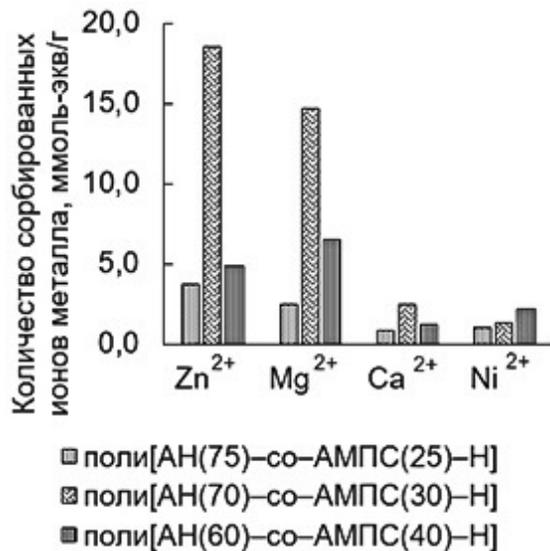


Рисунок 6 – Общее количество сорбированных (за 3 погружения) ионов металлов материалами на основе поли[АН–со–АМПС] из 0,1 н растворов сорбатов

Figure 6 – Total amount of metal ions sorbed (over 3 immersions) by materials based on poly[AN–co–AMPS] from 0.1 N sorbate solutions

Анализ данных, представленных на рисунке 6, указывает на то, что при использовании в качестве сорбата солей магния или цинка количество сорбированных

ионов Mg^{2+} и Zn^{2+} значительно превышает значения COE, определенные по ионам натрия. Вопреки априорному предположению о зависимости количества сорбированных ионов от состава поли[АН–со–АМПС], в наибольшей степени эффект сверхэквивалентной сорбции проявляется при использовании в качестве сорбата поли[АН(70)–со–АМПС(30)].

Выводы

- Изучена динамика синтеза поли[АН–со–АМПС] в ДМСО при содержании инициатора 0,08 % (от массы РС) и содержании ионогенного сомономера 0, 20, 25 и 30 % (от массы мономеров). Принципиального влияния варьирования содержания АМПС от 20 до 30 % (от массы мономеров) на кинетические параметры процесса синтеза не установлено.

- Определена ионообменная активность ионитов на основе сополимера АН и АМПС с различным содержанием АМПС.

- Получены зависимости количества сорбированных ионов Zn^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} и Ni^{2+} от композиционного состава сополимеров АН и АМПС.

- Отмечен эффект сверхэквивалентной сорбции в случае использования в качестве сорбата растворов $ZnSO_4$ и $MgSO_4$.

- Выдвинуто предположение о том, что процесс сорбции ионов Zn^{2+} и Mg^{2+} протекает не только по обменному механизму, но и по донорно-акцепторному и (или) «инклюзией» ионов металлов в процессе «усадки» ионита в растворе сорбата.

- На основании результатов исследований, можно отметить возможность создания на основе синтезированных поли[АН–со–АМПС] высокоэффективных, селективных по отношению к ионам Zn^{2+} и Mg^{2+} волокнистых сорбентов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Баскакова, Т.И., Кваша, Н.М. и Чеголи, А.С. [1982]. *Аналитический контроль производства синтетических волокон*. Москва: Химия, СССР.

Вольф, Л.А. [1980]. *Волокна с особыми свойствами*. Москва: Химия, СССР.

Геллер, Б.Э., Геллер, А.А. и Щербина, Л.А. [2016]. *Высокомолекулярные соединения. Часть 1. Свойства волокнообразующих полимеров*. Могилев: МГУП, РБ.

Чикунская, В.М., Огородников, В.А., Щербина, Л.А. и Будкуте, И.А. [2022]. Сорбционная активность материалов на основе поли[акрилонитрил–со–2-акриламид–2-метилпропансульфокислоты]. *Полимерные материалы и технологии*, Т. 8, № 1, С. 50–56. doi:10.32864/polymmattech-2022-8-1-50-56.

- Щербина, Л.А., Чикунская, В.М., Огородников, В.А. и Будкуче, И.А. (2022). Синтез волокнообразующего сополимера акрилонитрила в диметилсульфоксиде. *Химические волокна*, № 5, С. 26–34.
- Ahmadian-Alam, L., Kheirmand, M. and Mahdavi, H. (2016). Characterization and Properties of PVDF-g PAMPS/PMMA-Co-PAMPS. *Chemical Engineering Journal*, vol. 284, pp. 1035–1048. doi:10.1016/j.cej.2015.09.048.
- Benkhaled, B.T., Hadiouch, S., Olleik, H., Perrier, J., Ysacco, C., Guillaneuf, Y., Gignes, D., Maresca, M. and Lefay, C. (2018). Elaboration of Antimicrobial Polymeric Materials by Dispersion of Well-Defined Amphiphilic Methacrylic SG1-Based Copolymers. *Polymer Chemistry*, no. 9, pp. 3127–3141. doi:10.1039/C8PY00523K.
- Çavuş, S. and Çakal, E. (2017) Poly[2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid-co-1-vinyl-2-pyrrolidone] Hydrogel and its use in the Removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II). *Acta Physica Polonica*, no. 3, pp. 505–508. doi:10.12693/APhysPolA.132.505.
- Chiu, H.T., Lin, J.M., Cheng, T.H. and Chou, S.Y. (2011). Fabrication of electrospun polyacrylonitrile ion-exchange membranes for application in lysozyme. *Express Polymer Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 308–317. doi:10.3144/expresspolymlett.2011.31.
- Corzo-González, Z., Loria-Bastarrachea, L.I., Hernández-Nuñez, E. and Aguilar-Vega, M. (2017). Preparation and Characterization of Crosslinked PVA/PAMPS Blends Catalytic Membranes for Biodiesel Production. *Polymer Bulletin*, vol. 74, pp. 2741–2754. doi:10.1007/s00289-016-1864-3.
- Ganguly, S. (2017). Starch Functionalized Biodegradable Semi-IPN as a PH-Tunable Controlled Release Platform for Memantine. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 95, pp. 185–198.
- Greenleaf, J.E., Lin, J. and SenGupta, A.K. (2006). Two novel applications of ion exchange fibers: Arsenic removal and chemical-free softening of hard water. *Environmental Progress*, vol. 25, no. 4, pp. 300–311. doi:10.1002/ep.10163.
- Matsumoto, H., Wakamatsu, Y., Minagawa, M. and Tanioka, A. (2006). Preparation of ion-exchange fiber fabrics by electrospay deposition. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 293, no. 1, pp. 143–150. doi:10.1016/j.jcis.2005.06.022.
- Muñoz-Bonilla, A. and Fernández-García, M. (2018). Poly(Ionic Liquid)s as Antimicrobial Materials. *European Polymer Journal*, vol. 105, pp. 135–149.
- Williams, P.A. (2007). *Handbook of Industrial Water Soluble Polymers*. Ames: Wiley-Blackwell, US.
- SenGupta, A.K. (2007). *Ion exchange and solvent extraction*. Boca Raton: CRC Press, US. doi:10.1201/9781420007411.
- Shin, D.H., Ko, Y.G., Choi, U.S. and Kim, W.N. (2004). Design of high efficiency chelate fibers with an amine group to remove heavy metal ions and pH-related FT-IR analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 43, no. 9, pp. 2060–2066. doi:10.1021/ie030696f.

REFERENCES

- Baskakova, T.I., Kvasha, N.M. and Chegoli, A.S. (1982). *Analiticheskij kontrol' proizvodstva sinteticheskikh volokon* [Analytical control of synthetic fiber production]. Moscow: Khimiya, USSR (In Russian).
- Volf, L.A. (1980). *Volokna s osobymi svoystvami* [Fibers with special properties]. Moskva: Khimiya, USSR (In Russian).
- Geller, B.E., Geller, A.A. and Shherbina, L.A. (2016). *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Chast' 1. Svoystva voloknoobrazuyushhikh polimerov* [High molecular weight compounds. Part 1. Properties of fiber-forming polymers]. Mogilev: MGUP, BY (In Russian).
- Chikunskaya, V.M., Ogorodnikov, V.A., Shherbina, L.A. and Budkute, I.A. (2022). Sorption activity of poly[acrylonitrile-co-2-acrylamido-2-methylpropanesulfonic acid-based materials] [Sorbtsionnaya aktivnost' materialov na osnove poli[akrilonitril-co-2-akrilamid-2-metilpropansulfokisloty]]. *Polimernye materialy i tekhnologii = Polymer materials and technologies*, vol. 8, no. 1, pp. 50–56. doi:10.32864/polymmattech-2022-8-1-50-56 (In Russian).
- Shherbina, L.A., Chikunskaya, V.M., Ogorodnikov, V.A. and Budkute, I.A. (2022). Synthesis of a fiber-forming copolymer of acrylonitrile in dimethyl sulfoxide [Sintez voloknoobrazuyushhego sopolimera akrilonitrila v dimetilsulfoksidi]. *Khimicheskie volokna = Chemical fibers*, no. 5, pp. 26–34 (In Russian).
- Ahmadian-Alam, L., Kheirmand, M. and Mahdavi, H. (2016). Characterization and Properties of PVDF-g PAMPS/PMMA-Co-PAMPS. *Chemical Engineering Journal*, vol. 284, pp. 1035–1048. doi:10.1016/j.cej.2015.09.048.

Benkhaled, B.T., Hadiouch, S., Olleik, H., Perrier, J., Ysacco, C., Guillaneuf, Y., Gimes, D., Maresca, M. and Lefay, C. (2018). Elaboration of Antimicrobial Polymeric Materials by Dispersion of Well-Defined Amphiphilic Methacrylic SG1-Based Copolymers. *Polymer Chemistry*, no. 9, pp. 3127–3141. doi:10.1039/C8PY00523K.

Çavuş, S. and Çakal, E. (2017) Poly[2-acrylamido-2-methyl-1-propane sulfonic acid-co-1-vinyl-2-pyrrolidone] Hydrogel and its use in the Removal of Cd(II), Pb(II) and Cu(II). *Acta Physica Polonica*, no. 3, pp. 505–508. doi:10.12693/APhysPolA.132.505.

Chiu, H.T., Lin, J.M., Cheng, T.H. and Chou, S.Y. (2011). Fabrication of electrospun polyacrylonitrile ion-exchange membranes for application in lysozyme. *Express Polymer Letters*, vol. 5, no. 4, pp. 308–317. doi:10.3144/expresspolymlett.2011.31.

Corzo-González, Z., Loria-Bastarrachea, L.I., Hernández-Nuñez, E. and Aguilar-Vega, M. (2017). Preparation and Characterization of Crosslinked PVA/PAMPS Blends Catalytic Membranes for Biodiesel Production. *Polymer Bulletin*, vol. 74, pp. 2741–2754. doi:10.1007/s00289-016-1864-3.

Ganguly, S. (2017). Starch Functionalized Biodegradable Semi-IPN as a PH-Tunable Controlled Release Platform for Memantine. *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 95, pp. 185–198.

Greenleaf, J.E., Lin, J. and SenGupta, A.K. (2006). Two novel applications of ion exchange fibers: Arsenic removal and chemical-free softening of hard water. *Environmental Progress*, vol. 25, no. 4, pp. 300–311. doi:10.1002/ep.10163.

Matsumoto, H., Wakamatsu, Y., Minagawa, M. and Tanioka, A. (2006). Preparation of ion-exchange fiber fabrics by electrospray deposition. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 293, no. 1, pp. 143–150. doi:10.1016/j.jcis.2005.06.022.

Muñoz-Bonilla, A. and Fernández-García, M. (2018). Poly[Ionic Liquid]s as Antimicrobial Materials. *European Polymer Journal*, vol. 105, pp. 135–149.

Williams, P.A. (2007). *Handbook of Industrial Water Soluble Polymers*. Ames: Wiley-Blackwell, US.

SenGupta, A.K. (2007). *Ion exchange and solvent extraction*. Boca Raton: CRC Press, US. doi:10.1201/9781420007411.

Shin, D.H., Ko, Y.G., Choi, U.S. and Kim, W.N. (2004). Design of high efficiency chelate fibers with an amine group to remove heavy metal ions and pH-related FT-IR analysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 43, no. 9, pp. 2060–2066. doi:10.1021/ie030696f.

Информация об авторах

Information about the authors

Чикунская Вера Михайловна

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

E-mail: htvms@tut.by, chikunskaja_v_m@mail.ru

Щербина Леонид Александрович

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

E-mail: htvms@tut.by

Будкоте Ирина Александровна

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

E-mail: htvms@tut.by, budkute@yandex.ru

Vera M. Chykunskaya

Senior Lecturer at 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, chikunskaja_v_m@mail.ru

Leonid A. Shcherbina

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

E-mail: htvms@tut.by

Iryna A. Budkute

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

E-mail: htvms@tut.by, budkute@yandex.ru

Огородников Валерий Анатольевич

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

E-mail: htvms@tut.by, v.a.ogorodnikov@gmail.com

Valery A. Ogorodnikov

Candidate of Sciences (in Chemical), Associate Professor at 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, v.a.ogorodnikov@gmail.com

Исследование экологичности технологии нанопузырьков e-flow при отделке джинсовой ткани с анализом качества продукции

Мухаммад Наид-Улл-Ислам¹,
 Шах Мухаммад Маруф Хасан¹, Махмуда Актер¹,
 Мухаммад Камрул Хассан Шоудхури¹,
 Мухаммад Шахидул Ислам Сакиб²,
 Саббир Ахамед¹, Мухаммад Абу Саид³

¹Бангладешский текстильный университет, Бангладеш

²Компания Genesis fashion & washing Limited, Бангладеш

³Компания DBL Group, Бангладеш

Аннотация. Швейная промышленность, в частности сектор стирки джинсовой ткани, сталкивается со значительными проблемами в области устойчивого развития из-за пагубного воздействия на загрязнение воды и образования огромного количества химических отходов. В этом исследовании рассматривается использование электронной обработки джинсовой ткани и оценивается ее экологичность с помощью программного обеспечения для измерения воздействия на окружающую среду (EIM). Технологии E-flow являются привлекательной альтернативой традиционным методам отделки джинсовой ткани, поскольку они сокращают использование воды и химикатов в текстильном производстве. Технология e-Flow использует микронизацию и распыление, чтобы заменить традиционные методы истирания, используя нанопузырьки воздуха для улучшения химических свойств. Эта технология позволяет проводить более гибкие отделочные работы, экономить воду, снижать затраты на нанесение и обеспечивать сохранение необходимого количества химикатов в одежде. Технология EIM оценивает воздействие одежды на окружающую среду в четырех ключевых областях: потребление воды, химических веществ, энергии и трудозатраты в процессе производства. Платформа EIM предназначена для оценки воздействия на окружающую среду процессов отделки одежды, тем самым повышая экологические показатели на этапе производства. Это инструмент самоаккредитации для индустрии отделки одежды, который дает прачечным самообслуживания и отделочникам преимущество в создании более экологичных производств. Результаты исследования дают ценную информацию об экологичности и комфорте нанопузырьковых покрытий e-flow при производстве джинсовой ткани, которые могут послужить основой для будущих достижений в текстильной промышленности.

Ключевые слова: джинсовая ткань, экологичность, электронный поток, нанопузырьки.

Информация о статье: поступила 28 сентября 2024 года.

Exploring the sustainability of e-flow nanobubble technique in denim finishing with an analysis of product quality

Md. Nahid-Ull-Islam¹, Shah Md. Maruf Hasan¹,
 Mahmuda Akter¹, Md. Kamrul Hassan Chowdhury¹,
 Md. Shahidul Islam Sakib², Sabbir Ahamed¹, Md. Abu Sayeed³

¹Bangladesh University of Textiles, Bangladesh

²Genesis fashion & washing Limited, Bangladesh

³DBL Group, Bangladesh

Abstract. The apparel industry, specifically the denim washing sector, faces significant sustainability challenges due to its detrimental effects on water contamination and the production of enormous amounts of chemical waste. This study examines using e-flow treatments on denim fabric and evaluates its sustainability using Environment Impact Measuring (EIM) software. E-flow technologies are compelling alternatives to conventional denim finishing methods because they reduce water and chemical use in textile manufacturing. e-Flow Technology uses micronization and nebulization to replace traditional abrasion methods, utilizing air nanobubbles for improved performance chemistry. This technology allows for more flexible finishing operations, conserving water, reducing application costs, and ensuring the right amount of chemicals remain in the garment. The EIM technique assesses the ecological impact of clothes across four key domains: water, chemical, energy, and labor consumption in the production process. The EIM platform aims to evaluate the environmental impact of apparel finishing processes, thereby enhancing the production stage's environmental performance. It is a self-

accreditation tool for the clothing finishing industry, giving laundromats and garment finishers an advantage in creating greener operations. The study's findings provide valuable insights into the sustainability and comfort elements of e-flow nanobubble finishes in denim production, which can inform future advancements in the textile industry.

Keywords: denim, sustainability, e-flow, nanobubble.

Article info: received September 28, 2024.

1 Introduction

Denim has attained the status of a fashion icon due to various technological advancements, such as significant enhancements in spinning, weaving, and finishing processes. Washing is a crucial step in the production of exceptional denim jeans. Customers demand a variety of attributes in their jeans, which is why washing is so important in the denim industry. Denim is a durable 2/1 or 3/1 cotton twill fabric (sometimes called work-wear twill) with a coarse, raw white weft and a blue-dyed warp (Amutha, 2017). The e-flow wash is an environmentally friendly denim finishing technology that uses nanobubbles of air instead of water to transport chemicals onto clothing fabric. It is a mechanical process, no chemical is required. This process is characterized by zero discharge and offers substantial reductions in water consumption and energy usage. In comparison to conventional washing processes, it provides increased flexibility and allows for the production of a wide variety of finishes (Garcia, 2015a). This approach involves introducing atmospheric air into an e-flow reactor and subjecting it to an electromechanical shock, resulting in the generation of nanobubbles and a stream of humid air. The nanobubble mixture is subsequently introduced into a rotating tumbler that contains denim fabric (Figure 1). Nanobubbles disrupt the denim surface, resulting in a gentle tactile sensation and improved shrinkage control (Zouari, Manich, Marti, Gargoubi, & Boudokhane, 2023).

The nanobubble generated by e-flow reactor has an radius of around 1 nanometer and its skin is a uniform

mix of water, chemicals, and air (Figure 2). This skin is responsible for transforming the properties of chemicals in the garment (Jeanologia, 2024b). The nanobubble carries the liquor on the surface of the fabric and ensures uniform effect after wash.

An academic study investigated the impact of several softening agents on the elasticity of denim fabric. Silicone-based softeners enhanced the fabric's smoothness, softness, and warmth. Non-ionic softeners demonstrated excellent water vapor permeability. Thermal conductivity was reduced in both non-ionic and anionic softeners during compression and recovery in comparison to silicone-based and cationic softeners (Mohsin et al., 2022). The researchers investigated the natural and induced convective heat transfer properties of the rib-knit fabric. They discovered that a decrease in rib number reduces heat loss due to higher air entrapment. As the cloth tightens, heat loss decreases owing to limited airflow. The study discovered that conductive heat loss from fibres and air gaps is more relevant than convective heat loss. A recent article claims that ozone-based denim washing is more environmentally friendly than conventional methods since it uses less water, chemicals, and processing time, generates less waste, and has a lesser impact on the environment. With less of an effect on the environment and ETP, this denim finishing method is twice as productive as earlier ones. Additionally, it produces twice as much as traditional washing (Nayak, George, Jajpura, Khandual, & Panwar, 2022). A separate investigation studied the impact of different enzyme treatments on denim clothing, such

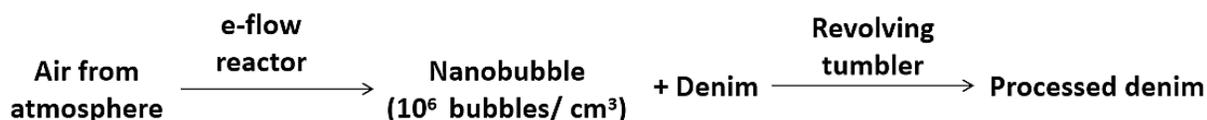


Figure 1 – Schematic diagram of e-flow softening

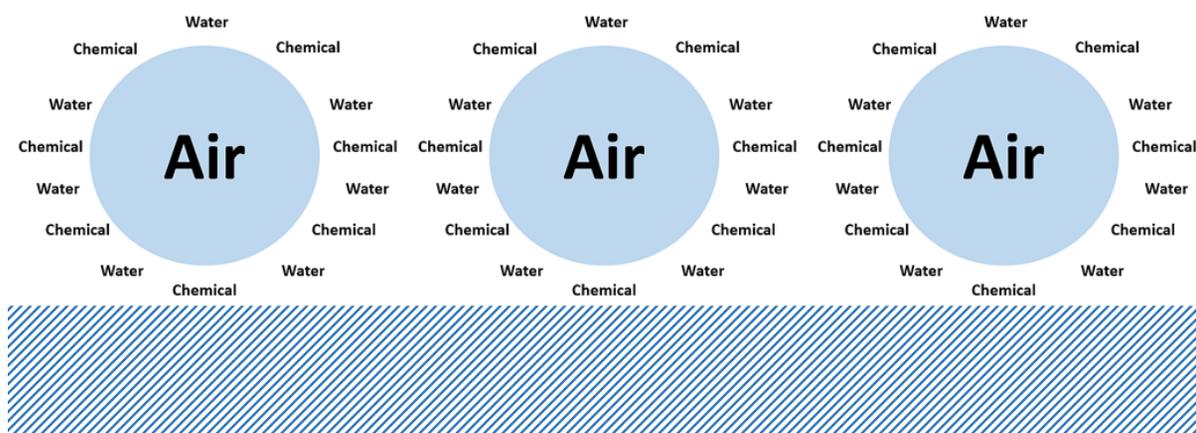


Figure 2 – Nanobubble skin

as acid and neutral cellulases. Combining laccases with cellulases resulted in enhanced brightness and decreased discoloration on the garment's back and white pocket, according to the study (Montazer & Sadeghianmaryan, 2009). Researchers explain how the latest washing methods like laser, waterjet, nanobubble, ozone, NoStone, potassium permanganate substitutes, etc. can help achieve sustainability.

The denim washing business has seen a significant transformation due to the advent of new technology, resulting in reduced use of chemicals, water, and power while also enhancing quality. Thus, it is indisputable that the latest advancements in denim washing technology are essential to the sustainability of the sector. Additionally, this article presents the concept of digitally printed denim and the software that is already available for assessing sustainability in the denim washing process. However, it also demonstrates that further advancements must be made to show that the wash is sustainable for the industrial sector. Researchers treated samples of denim fabric with ozone to enhance the impact of the washing conditions on the look and physical properties of the textiles (Khan & Jintun, 2021). The intended outcome was obtained by analysis and investigation of the rubbing fastness assessment, shrinkage, force at break, bag resistance, spectroscopic testing, and Fourier transform-infrared analysis of the treated and untreated denim textiles. However, there's a downside. Denim has to be treated for only a short amount of time with a moderate

concentration of ozone to protect the environment and satisfy consumer demands (Ben Fraj & Jaouachi, 2021). Researchers studied the long-term sustainability of denim finishing's nebulization process using environmental impact measuring software. They assessed its effectiveness in terms of water usage, chemical usage, energy consumption, and labor implications. Results showed low energy and water demands, resulting in less waste and pollution. Despite its restricted use, potassium permanganate is a dangerous compound whose use contributes to the chemical's high EIM score. An exhaustive examination of the chemical effects on nebulized finishing was not done in this study (Hasan, Nahid-Ull-Islam, Hassan, Chowdhury, & Sakib, 2024).

EIM (Environmental Impact Measuring) software stands out because it is the sole software capable of quantifying the ecological consequences of garment finishing techniques. Additionally, it serves as a powerful self-validation instrument that allows manufacturers, brands, and retailers to monitor the amount of energy, water, and chemicals utilized in the creation of their products, as well as any potential health hazards for personnel. Our objective is to enhance EIM by converting it into a user-friendly platform that integrates another venture. A working group comprising various EIM users integrates further industry initiatives into the tool management, enabling brands and garment finishers to upgrade EIM software according to their interests. The environmentally friendly features of EIM solve problems

by reducing the need for energy, water, and less polluted chemicals for easier decision-making. The resolution of a moral dilemma is an additional factor. Removing potentially harmful chemicals and physical labour has a detrimental effect on the health of employees. Avoiding rising product manufacturing costs enables rapid adoption. We will introduce new technology, procedures, or services only when we can produce the ideal product at a cost-neutral rate. This disruptive approach paves the way for genuine progress (Jeanologia, 2024a). The study aims to explore the possibilities of implementing nanobubble technology to obtain eco-friendly denim softening with an analysis of product qualities after e-flow softening.

2 Materials and methods

2.1 Materials

Six denim pants of large size are collected from a well-established factory in Bangladesh. Table 1 shows the specifications of the materials and methods used for the experiment. The e-flow machine was paired with an industrial washing machine to carry out dry and wet processes.

Denim finish with e-flow softening

Whether made of denim or another type of fabric, the use of a softener smooths and adds a pleasing touch to an article of clothing. The consumer can immediately see the increased value that this provides. Softeners not only enhance the fabric's properties but also prevent clothes from adhering to each other. Figure 3 shows the operation flow chart for e-flow softening. The laser recreates the whisker and the natural ageing process. The finishing was performed with e-flow softening at 50 % NBP (nanobubble percentage), a room temperature of 25 °C, a nanobubble flow of 120 litres per hour, and an 80 rpm centrifuge. Base OT concentrate (highly concentrated softener for natural and synthetic fibres) was used to soften denim. E-flow humidifies the residual ash from the laser. Still, the presence of high moisture levels and

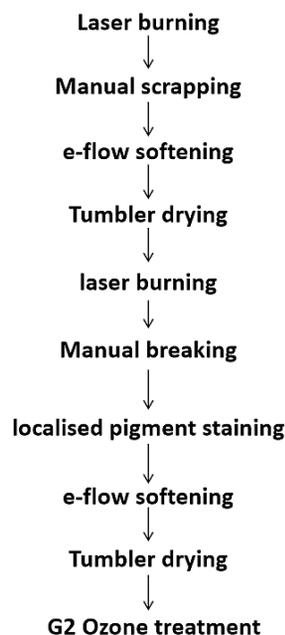


Figure 3 – Operation of the flow chart of denim with e-flow softening

the surface wearing down can lead to back staining. The application of ozone treatment can effectively resolve this issue (Garcia, 2015a). The primary action of transferring nanobubble to the garment surface is carried out by the micronization method with an optional heating system for better performance.

2.2 Methods

EIM (Environmental Impact Measuring) Software

To evaluate the sustainability of e-flow processes, a comparative study was carried out using the EIM software. The impacts on workers, chemicals, water, and energy are divided into separate categories by the EIM score. The program pre-sets an environmental criterion against

Table 1 – Materials and methods with specification

SL.	Materials and Methods	Specification
1	Fabric construction	3/1 warp-faced twill
2	Fibre composition	99 % Cotton, 1 % Elastane
3	Primary machine	e-flow
4	Primary operation	Softening

which the outcomes of each category are assessed. The overall influence of the process is sorted from low to high once each category has been classified separately. We understandably present the results using colour coding. While assessing the sustainability of denim washing, Table 2 displays the categories, values, and ranges of water consumption, energy consumption, chemical impact, workers, and health of EIM software. The range of EIM values is low impact (0-33), medium impact (33-66), and high impact (+ 66).

Test Methods

Various testing procedures can be used to ascertain specific characteristics which must meet quality standards. Table 3 displays the various tests and accompanying instruments used in this research study to measure those characteristics. The reputed denim industry in Bangladesh conducted the tests at its in-house laboratory. The spirality of denim was determined maintaining ISO 6330: 2021 standard. The tear force was measured according to ISO 13937-1: 2000 standard. Seam force and seam slippage were measured using ISO 13934-2: 2014 and ISO 13936-2: 2004 standards respectively. The study experiments were carried out on the instruments mentioned in the table.

3 Results and Discussion

3.1 Sustainability of e-flow softening

E-flow significantly decreases water usage and allows for the efficient utilization of various resources, optimizing their consumption and making a substantial impact on cutting energy expenses. Table 4 provides a brief overview of the importance of nanobubble technology concerning the use of water, chemicals, and energy while using e-flow. The effectiveness of e-flow softening is evident in its ability to reduce water and chemicals per garment by 94.994 % and 84 %, respectively. Additionally, it indicates that each piece of clothing conserves 0.41 kilowatt-hours (kWh) of energy(Garcia, 2015b).

Table 5 shows the EIM score of water, energy, and chemical for e-flow softening. We can use the EIM score to measure sustainability throughout the production process. Nanobubble technology has a negligible environmental impact in terms of water, energy, chemicals, and worker effects. Water consumption has an EIM score of 23.2, indicating a low influence on water usage (Nahid-Ull-Islam et al., 2024). The energy consumption value also indicates a minimal effect on energy utilization. Chemicals and workers' impact values are low because of the reduced need for labor in e-flow softening, resulting in lower impact ranges.

Table 2 – EIM (Environmental Impact Measuring) software result display

EIM V2.0					
Category				EIM Score Range	
Water	Energy	Chemical Impact	Worker Impact		
0-45	0-2.5	0-33	0-13	Low impact	0-33
45-90	2.5-3.6	33-66	13-29	Medium impact	33-66
+ 90	+ 3.6	+ 66	+ 29	High impact	+ 66

Table 3 – Test Methods

Test Name	Standard	Instrument
Spirality	ISO 6330:2021	Spirality tester
Tear force (N)	ISO 13937-1:2000	Elma tear testing machine
Seam force (N)	ISO 13934-2:2014	Constant Rate of Elongation machine
Seam slippage (mm)	ISO 13936-2:2004	Constant Rate of Elongation machine

Table 4 – Significance of e-flow softening in terms of water, chemical, and energy consumption

Parameters	Conventional (without nanobubble)	With nanobubble
Water (liter/garment)	33.60	1.682
Chemical (gram/liter)	2	0.32
Energy (kWh/garment)	1.01	0.60

Table 5 – EIM score

Category	EIM Score	Standard	Parameter (EIM Score)			
			Water	Energy	Chemical Impact	Worker Impact
Water consumption	23.2	Low impact	0–45	0–2.5	0–33	0–13
Energy use	2.3	Medium impact	45–90	2.5–3.6	34–66	14–29
Chemical consumption	4	High impact	+ 90	+ 3.6	+ 66	+ 29
Workers' impact	5					

3.2 Product quality after e-flow softening

Figure 4 shows the visual appearance of the sample before and after e-flow softening. Figures 4(a) and 4(c) depict the front and back of the denim sample before e-flow softening, while Figures 4(b) and 4(d) illustrate the front and back of the denim sample after e-flow softening, showing a modification in the sample's perspective. The degree to which a product meets customer expectations performs as intended, and complies with industry standards is referred to as its quality. This study looks at the way various washing techniques impact product quality and customer preferences.

Spirality is a frequent issue where yarn tends to twist in reverse direction on fabric due to fabric structure, yarn count and finishing of denim. Table 6 illustrates the evaluation of the spirality test after multiple wash cycles of denim after e-flow softening. It can be observed that the spirality percentage of denim after e-flow softening does not exceed the maximum requirement. Accordingly, after 1, 2 and 3 wash cycles, the spirality is 1.0 %, 2.0 % and 3.0 % which lies with the requirement. Additionally maintaining spirality helps to prevent creases and wrinkles in the denim fabric, resulting in a smoother finish.

Table 7 demonstrates the tear force of denim after e-flow softening. Tearing force is the average force necessary to continue a tear that has already started in a fabric. Six samples are examined, and the minimum tear force in both the warp and weft directions is 30 and 24, respectively. The results showed that the samples' tear force was within the specified range. For example, in sample 5, the tear force in the warp and weft directions is 37 N and 26 N, respectively, which is within the standard value but greater than the minimal value since the higher the tear force, the better the material can survive the consequences of tearing (Nizam et al., 2023).

Table 8 shows the seam force (N) of denim after e-flow softening the case of an inseam and side seam, the seam force is within the standard range and exceeds the minimum of 260 N. In sample 1, the inseam and side seam values are 266.6 N and 295.4 N, respectively, which are greater than the minimal values. In addition to the inseam and side seam tear force of the seat, the back and front rises are measured. Seam force for the seat, back rise, and front rise are within the range and exceed the minimal amount. The higher the seam force of the sample, the greater the resistance to seam breaking at the inseam, side seam, seat, back rise, and front rise. A



Figure 4 – The visual appearance of the sample before and after e-flow softening: (a) Before sample (front), (b) After sample (front), (c) Before sample (back), (d) After sample (back)

Table 6 – Spirality Test

	Left side seam (cm)	Left fold at the bottom hemmed (cm)	Spirality (%)	Requirement (%)
After 1 wash	49.0	0.5	1.0	3
After 3 washes	48.8	1.0	2.0	
After 5 washes	48.8	1.2	2.5	

Table 7 – Tear force(N) of denim after e-flow softening

	Standard(N)	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Warp	30 min	40	33	43	32	37	34
Weft	24 min	26	26	32	25	26	26

Table 8 – Seam force (N) of denim after e-flow softening

	Standard(N)	Sample 1	Sample 2	Sample 3	Sample 4	Sample 5	Sample 6
Inseam	260 min	266.3	267.4	265.9	265.9	266.0	261.4
Side seam		295.4	296.5	294.0	296.5	296.5	292.3
Seat		459.5	460.9	454.3	455.4	468.3	464.0
Back Rise		355.0	355.0	350.0	352.7	353.3	350.9
Front Rise		276.9	277.7	273.4	275.3	275.9	274.0

new article demonstrating this outcome supports the findings (Hasan et al., 2024; Nizam et al., 2023).

While an acceptable range of seam slippage was identified for both the inseam and the side seam (Table 9), the inseam slippage in samples 1, 2, 3, 5, and 6 is zero, with the other samples falling within the maximum range of 6 mm. For the side seam, all of the samples produce acceptable results with a small amount of slippage, but the values are lower than the maximum value. As a consequence, the seam is placed properly. Recent papers on the sustainable use of ozone wash and laser fading over conventional denim wash support this seam force and seam slippage test of denim (Hasan et al., 2024).

4 Conclusion

The study revealed that using nanobubble technology for denim softening is an ecologically friendly and sustainable method, primarily due to its exceptional water, chemical, and energy efficiency. The testing

criteria indicated that the use of nanobubble technology is environmentally friendly and efficient, with water, chemical, and energy consumption efficiencies of 95 %, 84 %, and 40 %, respectively. This process is environmentally friendly because it has no negative effects on water, chemical, or energy usage. Consequently, it is a financially viable and highly effective choice for denim finishing. The treated denim materials now boast a smoother and softer texture, setting them apart from conventionally finished fabrics. The study has revealed the importance of e-flow nanobubble technology in improving denim fabrics' tear force, seam force, and seam slippage. Our study highlights the significant impact of e-flow nanobubble technology on improving sustainable denim finishing methods, as well as maintaining product quality. Researchers can guide toward an approach that is more environmentally attentive and focused on future research by using these sustainable practices.

Table 9 – Seam slippage(mm) of denim after e-flow softening

	Standard(mm)	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Inseam	6 max.	0	0	0	0.5	0	0
Side Seam		2	1.5	1.8	2.8	1.5	2.3

REFERENCES

- Amutha, K. (2017). Environmental impacts of denim, Muthu, S.S. (Ed.), *Sustainability in Denim*, Woodhead Publishing, Cambridge, US, pp. 27–48.
- Ben Fraj, A. and Jaouachi, B. (2021). Effects of ozone treatment on denim garment properties. *Coloration Technology*, vol. 137, no.6, pp. 678–688. <https://doi.org/10.1111/cote.12568>.
- Garcia, B. (2015). Reduced water washing of denim garments, Paul, R. (Ed.), *Denim*, Woodhead Publishing, Cambridge, US, pp. 405–423.

Hasan, S.M.M., Nahid-Ull-Islam, M., Hassan, M.K., Chowdhury, M.A. and Sakib, M.S.I. (2024). Core 2.0 Nebulization Technique-A Sustainable Denim Finishing Approach. *Textile & Leather Review*, vol. 7, pp. 582–596.

Jeanologia, (2024). *Improve your ecological footprint*, [Online], Available from: <https://www.jeanologia.com/eim/> [Accessed: 27.11.2024].

Jeanologia, (2024). *Water is over: Air is the future. e-Flow technology with nanobubbles*, [Online], Available from: <https://www.jeanologia.com/eflow-k-lab/> [Accessed: 27.11.2024].

Khan, M.K.R. and Jintun, S. (2021). Sustainability issues of various denim washing methods. *Textile & Leather Review*, vol. 4, no. 2, pp. 96–110.

Mohsin, M., Sardar, S., Hasan, M., Akhtar, K.S., Anam, W., Ijaz, S. and Hassan, A. (2022). Water Efficient, eco-friendly and Effluent Free Nano bubble Finishing of Cotton Fabric. *Journal of Natural Fibers*, vol. 19, no. 16, pp. 12586–12595.

Montazer, M. and Sadeghianmaryan, A. (2009). Influences of Different Enzymatic Treatment on Denim Garment. *Applied biochemistry and biotechnology*, vol. 160, pp. 2114–2128. doi:10.1007/s12010-009-8727-4

Nahid-Ull-Islam, M., Hasan, S.M.M., Chowdhury, M.K.H., Sakib, S.I., Ahamed, S., Sayeed, M.A. and Akter, M. (2024). Sustainable Approaches of Ozone Wash and Laser Fading Over Conventional Denim Wash. *Tekstilec*, vol. 67, no. 2, pp. 104–118.

Nayak, R., George, M., Jajpura, L., Khandual, A. and Panwar, T. (2022). Laser and ozone applications for circularity journey in denim manufacturing-A developing country perspective. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 38, art. 100680.

Nizam, E., Haque, M.E., Islam, M., Tanvir, M.T.R.B., Hossain, M., Mia, B. and Islam, A. (2023). Effects of O₃ Treatment on Different Composition%(Cotton, Polyester, Elastane) of Denim Fabrication (GSM 295, 327, 340, 343, 357, 360, 413) after Random O₃ Wash. *Journal of Textile Science and Technology*, vol. 9, no. 04, pp. 215–226.

Zouari, A., Manich, A., Marti, M., Gargoubi, S. and Boudokhane, C. (2023). "Nanobubble Technology for A Water-Repellent Treatment on Cotton Fabrics: A Comparative Study", [Online], Available at: <https://www.mdpi.com/2305-7084/7/3/47> [Accessed: 27.11.2024]. <https://doi.org/10.3390/chemengineering7030047>.

Информация об авторах

Information about the authors

Мухаммад Наид-Улл-Ислам

Аспирант, факультет технологии одежды, Бангладешский текстильный университет, Бангладеш.

E-mail: nahidhridoy42@gmail.com

Шах Мухаммад Маруф Хасан

Ассистент, факультет технологии одежды, Бангладешский текстильный университет, Бангладеш.

E-mail: marufbutex39ae@gmail.com

Махмуда Актер

Доцент, факультет технологии одежды, Бангладешский текстильный университет, Бангладеш.

E-mail: mahmuda.akter.mitu88@gmail.com

Мухаммад Камрул Хассан Шоудхури

Ассистент, факультет технологии одежды, Бангладешский текстильный университет, Бангладеш.

E-mail: kamrulrifat35@gmail.com

Мухаммад Шахидул Ислам Сакиб

Директор, Компания Genesis fashion & washing Limited, Бангладеш.

E-mail: shakibsi123@gmail.com

Md. Nahid-Ull-Islam

Graduate, Department of Apparel Engineering, Bangladesh University of Textiles, Bangladesh.

E-mail: nahidhridoy42@gmail.com

Shah Md. Maruf Hasan

Assistant Professor, Department of Apparel Engineering, Bangladesh University of Textiles, Bangladesh.

E-mail: marufbutex39ae@gmail.com

Mahmuda Akter

Associate Professor, Department of Apparel Engineering, Bangladesh University of Textiles, Bangladesh.

E-mail: mahmuda.akter.mitu88@gmail.com

Md. Kamrul Hassan Chowdhury

Assistant Professor, Department of Apparel Engineering, Bangladesh University of Textiles, Bangladesh.

E-mail: kamrulrifat35@gmail.com

Md Shahidul Islam Sakib

Executive, Genesis fashion & washing Limited, Bangladesh.

E-mail: shakibsi123@gmail.com

Саббир Ахамед

Аспирант, факультет технологии одежды, Бангладешский текстильный университет, Бангладеш.

E-mail: sapreom@gmail.com

Мухаммад Абу Саид

Продавец-товаровед, Компания DBL Group, Бангладеш.

E-mail: abusayeedshaon11@gmail.com

Sabbir Ahamed

Graduate, Department of Apparel Engineering, Bangladesh University of Textiles, Bangladesh.

E-mail: sapreom@gmail.com

Md. Abu Sayeed

Assistant Merchandiser, DBL Group, Bangladesh.

E-mail: abusayeedshaon11@gmail.com

Факторы модели DuPont в анализе рентабельности деятельности текстильных предприятий

Т. В. Касаева,
О. О. Шеремет

*Витебский государственный технологический университет,
Республика Беларусь*

Аннотация. Самая популярная в современном финансовом анализе пятифакторная модель DuPont предназначена для оценки степени влияния на рентабельность собственного капитала эффективности операционной и финансовой деятельности организации. Наличие национальных особенностей в классификации доходов и расходов организации, в содержании форм бухгалтерской финансовой отчётности затрудняет её безусловное использование в финансовом анализе деятельности организаций Республики Беларусь. Целью данного исследования является дальнейшая модификация факторной модели рентабельности собственного капитала применительно к информационному содержанию национальной финансовой отчётности текстильных предприятий и выявление наиболее значимых факторов в формировании уровня рентабельности их деятельности. Актуальность исследования заключается в том, что оценка факторов, формирующих уровень рентабельности собственного капитала, производилась не по отдельной компании, а по статистической совокупности, которая объединяет ряд текстильных организаций Республики Беларусь с учетом динамики исследуемых показателей за период 2020–2023 годы. Это позволило установить тенденции и зависимости финансовых показателей, складывающиеся в производстве текстильных изделий. В качестве основного метода количественной оценки влияния факторов на рентабельность собственного капитала выбран корреляционно-регрессионный анализ. Результаты проведённого исследования позволили сделать вывод о направлениях и значимости влияния на рентабельность собственного капитала таких факторов как налоговая нагрузка на прибыль, результативность инвестиционной и финансовой деятельности, результативность прочей текущей деятельности, рентабельности продаж, оборачиваемости активов и коэффициента капитализации.

Ключевые слова: рентабельность собственного капитала, рентабельность продаж, налоговое бремя, коэффициент капитализации, оборачиваемость активов, текущая и прочая текущая деятельность, инвестиционная и финансовая деятельность.

Информация о статье: поступила 25 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).

Factors of the DuPont model in the analysis of profitability of textile enterprises

Tamara V. Kasayeva,
Olga O. Sheremet

*Vitebsk State Technological University,
Republic of Belarus*

Abstract. Being the most popular in contemporary financial analysis, the five-factor DuPont model is designed to assess the extent the return on equity influences the efficiency of operating and financial activities of the organization. The presence of national characteristics in the classification of income and expenses of the organization, and in the content of the forms of accounting financial statements, complicates its unconditional use in the financial analysis of the activities of organizations in the Republic of Belarus. The purpose of this study is to further modify the factor model of return on equity in relation to the information content of the national financial statements of textile enterprises and to identify the most significant factors shaping the level of profitability of their activities. The relevance of the study lies in the fact that the assessment

of the factors forming the level of return on equity was carried out not for an individual company, but for a statistical population that unites a number of textile organizations in the Republic of Belarus, taking into account the dynamics of the studied indicators for the period 2020–2023. This made it possible to identify trends and dependencies of financial indicators emerging in the production of textiles. Correlation and regression analysis was chosen as the main method for quantitatively assessing the impact of factors on the return on equity. The results of the study allowed us to draw a conclusion about the directions and significance of the impact of factors such as the tax burden on profit, the effectiveness of investment and financial activities, the effectiveness of other current activities, sales profitability, asset turnover and capitalization ratio on the return on equity.

Keywords: return on equity, return on sales, tax burden, capitalization ratio, asset turnover ratio, current and other current activities, investment and financial activities.

Article info: received September 25, 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

Главенствующая роль прибыли и рентабельности в оценке эффективности того или иного бизнеса определена самой целью создания этого бизнеса, в качестве которой на первом плане традиционно провозглашается получение прибыли. Значение показателей рентабельности при этом определено тем фактом, что в отличие от показателей прибыли, которые выражаются в абсолютных величинах, они позволяют получить представление об относительной величине доходности, приходящейся на единицу стоимости ресурсов, доходов, затрат, генерирующих прибыль. На протяжении многих десятилетий мировая экономическая мысль занята обсуждением проблем теоретико-методического характера относительно сущности, методов расчёта и анализа показателей прибыли и рентабельности. Вместе с тем, подходы к их расчёту и анализу активно дискутируются и в настоящее время (Жирова Г.В., 2023; Кажушко Е.А., 2022; Мильяев А.В., 2021; Ромашкова О.Н. и Фролов П.А., 2016; Щукина М.В., 2021). Анализируется специфика и тенденции показателей прибыли и рентабельности в разных видах экономической деятельности: в промышленности (Елисеева Е.Н., 2019; Троицкий А.В. [и др.], 2022; Хамчуков Д.Ю., 2015), в сельском хозяйстве (Диденко Е.С., 2022; Дудина О.И. и Давлетгулова В.Д., 2023), в финансовом секторе (Баркар А.А., 2017; Ковалев Вит.В. и Воронова Е.А., 2019). Рассматривается роль показателей доходности бизнеса в оценке финансового состояния организации (Баркар А.А., 2017; Ковалев Вит.В. и Воронова Е.А., 2019; Романова И.В. и Волгина И.В., 2021), в прогнозировании вероятности её банкротства (Елисеева Е.Н., 2019; Каза-

ков А.В. и Кольшкин А.В., 2018); конструируются различные модели факторного анализа (Авдюшина М.А., 2023; Матюшина И.Л., 2019; Полуянцевич О.И., 2018; Щукина М.В., 2021).

Однако необходимо отметить, что в мировой практике финансового анализа нет более востребованной модели факторного анализа рентабельности компании, чем модель DuPont. Построенная по правилам моделирования мультипликативных моделей, основанного на последовательном расчленении факторов исходной системы на факторы-сомножители, она эволюционировала от двухфакторной до пятифакторной. Широкое распространение данной модели в оценке доходности бизнеса объясняется содержательностью ее факторов, в число которых входят:

- бремя налогов (tax burden);
- бремя процентов (interest burden);
- рентабельность продаж (return on sales);
- коэффициент оборачиваемости активов (asset turnover ratio);
- коэффициент капитализации или финансовый рычаг (leverage ratio).

Экономическая интерпретация полученных результатов факторного анализа призвана дать объективную оценку рентабельности собственного капитала: бесспорно, положительными тенденциями будут являться рост рентабельности продаж и коэффициента оборачиваемости активов, в то время как увеличение налоговой или процентной нагрузки приведёт к падению результирующего показателя. Неоднозначна оценка коэффициента капитализации, так как его увеличение

может привести к росту рентабельности собственного капитала, однако это свидетельствует о наращивании активов за счёт заемных средств, что может ухудшать показатели финансовой устойчивости бизнеса.

Многие современные исследователи дают детальную характеристику этих моделей, формулируют на их основе выводы и заключения [Березинец И.В. [и др.], 2016; Дудина О.И. и Давлетгулова В.Д., 2023; Елисеева Е.Н., 2019; Жирова Г.В., 2023; Матюшина И.Л., 2019; Орлова Е.В., 2023; Полуянцевич О.И., 2018]. Вместе с тем, в большинстве случаев при проведении факторного анализа по модели DuPont, мы наблюдаем результаты исследований по двух- или трёхфакторным моделям. По мнению авторов, в большей степени это связано с имеющимся информационным обеспечением.

Информационное обеспечение факторного анализа по модели DuPont формируется в бухгалтерской финансовой отчётности, которая в большинстве случаев относится к публикуемой информации, доступной для широкого круга пользователей. Вместе с тем присутствуют национальные особенности в содержании и порядке формирования показателей бухгалтерской отчётности, в том числе и в Республике Беларусь, что определено Национальным стандартом бухгалтерского учёта и отчётности «Индивидуальная бухгалтерская отчётность», утверждённым Постановлением Министерства финансов Республики Беларусь от 12.12. 2016 г. № 104. Эти особенности не позволяют безусловно применить пятифакторную модель DuPont, прежде всего, по двум причинам:

– первая из них касается классификации видов деятельности коммерческой организации и соответствующих им доходов и расходов. Несмотря на три общепризнанных вида деятельности в национальной классификации доходов и расходов: текущая, инвестиционная и финансовая – содержание текущей деятельности таково, что она включает в себя не только основную деятельность организации, но и прочую, которая в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами не может быть отнесена к финансовой и инвестиционной деятельности. Структура отчёта о прибылях и убытках экономических субъектов нашей страны содержит четыре элемента, формирующих прибыль организации – это финансовый результат, полученный организацией от реализации продукции, товаров, работ, услуг; финансовый результат её прочей текущей деятельности; а также прибыль либо убыток, полученные в процессе инвестиционной и финансовой деятельности.

Каждый из этих структурных элементов может оказывать значительное влияние на размер чистой прибыли организации, заложенной в основу анализируемой в модели DuPont рентабельности собственного капитала;

– вторая причина связана с определением одного из показателей пятифакторной модели – прибыль до уплаты процентов. Соответствующий действующим нормативно-правовым актам Республики Беларусь порядок отражения в бухгалтерском учёте и отчётности процентов по привлеченным средствам не позволяет по данным отчёта о прибылях и убытках организации определить один из показателей прибыли, который широко используется в зарубежном финансовом анализе и в пятифакторной модели DuPont в том числе: прибыль до уплаты процентов (ЕБИТ). Такая информация может быть получена только по результатам анализа учетных записей на счетах бухгалтерского учета, в том числе на так называемых затратных счетах.

Таким образом, приобретает особую актуальность проблема оценки рентабельности бизнеса по популярным в международной практике моделям, одним из путей решения которой может стать преобразование факторной модели DuPont применительно к информационному обеспечению, формируемому в национальной бухгалтерской финансовой отчетности.

Целью данного исследования является дальнейшая модификация факторной модели рентабельности собственного капитала с учетом действующего в национальной практике порядка формирования чистой прибыли коммерческой организации и выявление наиболее значимых факторов в достижении уровня рентабельности собственного капитала текстильных предприятий.

Материалы и методы исследования

Исходными материалами для проведения исследования послужили данные финансовых отчётов одиннадцати текстильных организаций, опубликованные на официальных сайтах в периоде 2020–2023 годы. Сформированная первоначально статистическая совокупность в процессе исследования была скорректирована: из неё исключены экономические субъекты с отрицательным значением собственного капитала и организации, которые демонстрируют на протяжении всего анализируемого периода отрицательные значения финансовых результатов деятельности. Корректность выводов и недопустимость антирекламы в отношении отдельных организаций послужили причиной замены наименования организаций на их условные

номера (таблица 1).

В анализируемом периоде все организации продемонстрировали рост выручки от реализации продукции, товаров, работ, услуг и среднегодовой стоимости собственного капитала. Однако соотношения между этими показателями существенно разнятся: если в 2023 году в организациях 1 и 2 выручка от реализации почти вдвое превышает величину собственного капитала, то в организациях 6, 7 и 8 наблюдается противоположная ситуация. Вместе с тем, самый большой объём реализации организации 1 позволял ей получать почти наилучшие по исследуемым объектам финансовые результаты в 2020 году, но наихудшие – в 2023. Таким образом, исследуемая совокупность неоднородна не только по раз-

меру организаций (о чём свидетельствуют абсолютные значения выручки от реализации и стоимости активов), но и по характеру динамики показателей, и по относительным показателям отдачи активов и собственного капитала. В связи с чем особую актуальность приобретает выявление общих для текстильных организаций закономерностей в формировании уровня рентабельности собственного капитала.

Для этой цели были использованы статистические методы исследования взаимосвязи экономических явлений, в частности, корреляционно-регрессионный анализ. При этом причинно-следственные связи отдельных факторов с уровнем рентабельности капитала оценивались в пространстве (по совокупности организаций) и в

Таблица 1 – Исходные данные для проведения исследования (фрагмент)

Table 1 – Original data for the study (fragment)

В тыс. руб.

Годы	№ организации	Выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг	Прибыль от реализации продукции, товаров, работ, услуг	Прибыль до налогообложения	Чистая прибыль	Среднегодовая стоимость активов	Среднегодовая стоимость собственного капитала
2020	1	121236	9913	4256	4206	104127	60716
	2	26862	2576	2018	1555	13553	11422
	3	38151	- 169	- 974	- 974	47162	25308
	4	43316	- 79	- 1860	- 1893	105497	33769
	5	12894	- 421	195	5	16816	10454
	6	50977	10839	15966	14050	110335	105194
	7	32 689	2235	22	6	340 684	26 738
	8	31104	5548	350	14	71842	26601
...
2023	1	147596	7645	-534	-613	150 081	74 529
	2	33833	6684	5390	4057	21637	19459
	3	54152	4962	2636	2472	82792	55383
	4	68250	2389	1115	808	132387	75902
	5	18574	1047	275	147	19779	13338
	6	75767	11938	20277	17400	139705	130771
	7	36 296	2 028	366	175	506 648	140 785
	8	57 343	9 688	8 346	6 795	134 457	89 671

Источник: составлено авторами по бухгалтерской отчётности организаций.

динамике (в период 2020–2023 годы).

Соблюдая принцип построения факторных моделей DuPont при их эволюции от двух- до пятифакторной: последовательное разложение показателя рентабельности собственного капитала на факторы-сомножители, – в исследовании применялся такой приём как моделирование мультипликативных факторных систем. Это позволило адаптировать пятифакторную модель DuPont под содержание финансовой отчётности национальных компаний и расширить её до шестифакторной. Апробация разработанной модели для оценки влияния отдельных факторов на динамику рентабельности собственного капитала производилась с использованием метода цепных подстановок или метода последовательного изолирования факторов.

Результаты исследования

Рентабельность собственного капитала (return on equity, ROE) – это относительный показатель эффективности деятельности организации, который в международном финансовом анализе определяется отношением чистой прибыли (без учета дивидендов, выплаченных по обыкновенным акциям, но с учетом дивидендов, выплаченных по привилегированным акциям) к собственному капиталу (положительным чистым активам). Чем выше показатель рентабельности собственного капитала компании, тем более эффективен бизнес, однако его значение может быть связано с преобладающей долей заемного капитала при незначительной доле собственного. Последнее обстоятельство снижает уровень финансовой устойчивости организации, в связи с чем в факторных моделях DuPont присутствует коэффициент капитализации, а сами модели имеют смысл только при наличии положительных чистых активов. Пятифакторная модель DuPont рентабельности собственного капитала представлена следующей формулой:

$$ROE = \frac{ЧП}{П\ до\ н/о} \times \frac{П\ до\ н/о}{ЕБИТ} \times \frac{ЕБИТ}{В} \times \frac{В}{А} \times \frac{А}{СК}, \quad (1)$$

где **ЧП** – чистая прибыль; **П до н/о** – прибыль до налогообложения; **ЕБИТ** – прибыль до уплаты процентов; **В** – выручка от реализации продукции, товаров, работ, услуг; **А** – стоимость активов; **СК** – стоимость собственного капитала.

Отмеченные ранее проблемы в безусловном применении данной модели привели к необходимости её модификации, ориентированной на информационное обеспечение, получаемое из финансовой бухгалтерской

отчетности национальных экономических субъектов.

Анализ публикуемых финансовых отчетов отдельных текстильных организаций Республики Беларусь позволяет сделать вывод о серьезном влиянии на прибыль организаций финансовых результатов прочей текущей деятельности (таблица 2).

Финансовый результат, который получают организации по своей основной текущей деятельности (прибыль от реализации продукции, товаров, работ, услуг) при определении общей суммы прибыли, заработанной организацией, значительно уменьшает сальдо доходов и расходов по прочей текущей деятельности, которые весьма разнообразны по своему составу: доходы, полученные организацией от реализации денежных средств и запасов (кроме продукции и товаров) и связанные с ними расходы; суммы излишков и суммы недостатков запасов и денежных средств; суммы полученных и суммы уплаченных штрафов, пени, неустоек; расходы по оказанию материальной помощи работникам, по содержанию обслуживающих хозяйств; доходы, связанные с государственной поддержкой, с безвозмездным получением запасов, денежных средств, услуг и другие доходы и расходы. Как свидетельствуют данные таблицы 1, убытки от прочей текущей деятельности в отдельных случаях почти вдвое, а иногда и более, уменьшают прибыль от реализации продукции, товаров, работ, услуг.

Таким образом, важным элементом факторной модели рентабельности собственного капитала в сложившейся ситуации может признаваться коэффициент влияния прочей текущей деятельности на прибыль от текущей деятельности. При этом предлагается рассчитывать его путем соотношения прибыли от текущей деятельности организации и прибыли от реализации продукции. Экономическая интерпретация такого соотношения следующая: если коэффициент больше 1, то прочая текущая деятельность вносит положительный вклад в формирование прибыли организации; если меньше – прочая текущая деятельность уменьшает финансовый результат, полученный промышленной организацией от своей основной деятельности, т. е. от реализации продукции, работ, услуг. При оценке этого фактора в динамике увеличение показателя должно интерпретироваться как положительная тенденция, а уменьшение – как негативное изменение.

В качестве альтернативы показателю «бремя процентов» в проектируемой нами факторной модели предлагается использовать показатель, который будет

Таблица 2 – Динамика финансовых результатов текущей деятельности отдельных текстильных организаций Республики Беларусь

Table 2 – Dynamics of financial results of current activities of individual textile organizations in the Republic of Belarus

Организация	2022 год			2023 год		
	Прибыль (убыток) от реализации продукции	Прибыль (убыток) от прочей текущей деятельности	Прибыль (убыток) от текущей деятельности	Прибыль (убыток) от реализации продукции	Прибыль (убыток) от прочей текущей деятельности	Прибыль (убыток) от текущей деятельности
Организация 1	4367	(4207)	160	7645	(3726)	3919
Организация 2	5540	(967)	4573	6684	(1387)	5297
Организация 3	7686	(771)	6915	4962	(857)	4105
Организация 4	4961	(607)	4354	2389	(1292)	1097
Организация 5	540	(467)	73	1047	(733)	314
Организация 6	15850	(1286)	14564	11938	(825)	11113
Организация 7	3 483	(58)	3 425	2 028	1445	3 473
Организация 8	8 060	(192)	7 868	9 688	(2050)	7 638

Источник: составлено авторами.

учитывать влияние на налогооблагаемую и чистую прибыль финансового результата, полученного организацией от инвестиционной и финансовой деятельности. Данные таблицы 3 указывают на необходимость учета соотношения структурных элементов формирования итогового финансового результата, так как значительная часть объектов исследования характеризуется существенным влиянием прибыли (убытка) от инвестиционной и финансовой деятельности на прибыль до налогообложения.

Для характеристики этого фактора предлагается использовать коэффициент влияния инвестиционной и финансовой деятельности на прибыль до налогообложения путем соотношения последней с величиной прибыли, полученной от текущей деятельности. Если указанное соотношение больше 1, то инвестиционная и финансовая деятельность вносят положительный вклад в формирование прибыли до налогообложения, в противном случае – наблюдается отрицательное влияние.

Таким образом, замена в пятифакторной модели DuPont фактора «время процентов» на «коэффициент влияния инвестиционной и финансовой деятельности» и введение дополнительного фактора «коэффициент влияния прочей текущей деятельности» приводит к мо-

дификации факторной модели собственного капитала и представлении её в следующем виде:

$$ROE = \frac{ЧП}{П\ до\ н/о} \times \frac{П\ до\ н/о}{П\ тд} \times \frac{П\ тд}{Пр} \times \frac{Пр}{В} \times \frac{В}{А} \times \frac{А}{СК}, \quad (2)$$

где **ЧП / П до н/о** – доля чистой прибыли в прибыли до налогообложения (коэффициент налогового бремени); **П до н/о / П тд** – коэффициент влияния инвестиционной и финансовой деятельности; **П тд / Пр** – коэффициент влияния прочей текущей деятельности; **Пр / В** – рентабельность продаж; **В / А** – коэффициент оборачиваемости активов; **А / СК** – коэффициент капитализации (коэффициент финансового рычага).

Апробация разработанной факторной модели проводилась на примере 8 организаций для оценки динамики рентабельности собственного капитала. Результаты приведены в таблицах 4 и 5.

Основные выводы, которые могут быть сделаны по итогам анализа динамики рентабельности собственного капитала в 2022 году:

– только две организации из восьми продемонстрировали падение уровня рентабельности собственного капитала и наиболее значимой причиной такой тенден-

Таблица 3 – Динамика формирования прибыли до налогообложения отдельных текстильных организаций Республики Беларусь

Table 3 – Dynamics of formation of profit before taxation of individual textile organizations in the Republic of Belarus

Организация	2022 год			2023 год		
	Прибыль (убыток) от текущей деятельности	Прибыль (убыток) от инвестиционной и финансовой деятельности	Прибыль (убыток) до налогообложения	Прибыль (убыток) от текущей деятельности	Прибыль (убыток) от инвестиционной и финансовой деятельности	Прибыль (убыток) до налогообложения
Организация 1	160	(4011)	(3851)	3919	(4453)	(534)
Организация 2	4573	485	5058	5297	93	5390
Организация 3	6915	(787)	6128	4105	(1469)	2636
Организация 4	4354	(1354)	3000	1097	18	1115
Организация 5	73	44	117	314	(39)	275
Организация 6	14564	6719	21283	11113	9164	20277
Организация 7	3 425	(3166)	259	3 473	(3107)	366
Организация 8	7 868	(6077)	1 791	7 638	708	8 346

Источник: составлено авторами.

Таблица 4 – Результаты факторного анализа динамики рентабельности собственного капитала в 2022 году (в коэффициентах)

Table 4 – Results of factor analysis of the dynamics of return on equity in 2022 (in coefficients)

Номер организации	Изменение рентабельности собственного капитала под воздействием динамики факторов:						Общее изменение рентабельности собственного капитала в 2022 году по сравнению с 2021 годом
	коэффициента налогового бремени	коэффициента влияния инвестиционной и финансовой деятельности	коэффициента влияния прочей текущей деятельности	рентабельности продаж	коэффициента оборачиваемости активов	коэффициента капитализации	
1	0,0013	- 0,7491	0,6868	- 0,0145	0,0139	0,0003	- 0,0614
2	0,0047	- 0,0232	0,0222	0,2054	- 0,0085	0,0002	0,2007
3	0,0058	0,0210	0,0038	0,1015	- 0,0320	- 0,0327	0,0674
4	0,0032	0,0179	- 0,0057	0,0322	0,0025	- 0,0138	0,0364
5	0,0125	- 0,0159	0,0192	0,0057	0,0004	- 0,0001	0,0218
6	- 0,0028	0,0268	- 0,0051	0,0165	0,0028	- 0,0003	0,0379
7	0,0008	0,0018	- 0,0002	- 0,0003	0,0005	- 0,0021	0,0004
8	- 0,0062	- 0,0325	0,0030	- 0,0058	- 0,0122	- 0,0091	- 0,0629

Источник: составлено авторами.

ции стала убыточность инвестиционной и/или финансовой деятельности;

- наиболее распространённым фактором, оказывающим отрицательное влияние на рентабельность собственного капитала, оказался коэффициент капитализации, указывающий на снижение уровня привлечения заёмных источников финансирования, что наблюдаем у шести организаций;

- каждая из рассмотренных организаций имеет свою специфику в направлениях воздействия факторов модели на итоговый показатель.

Несколько иная картина наблюдается в 2023 году:

- увеличение ставки налога на прибыль у половины организаций привело к снижению рентабельности собственного капитала;

- большинство организаций продемонстрировали снижение рентабельности продаж и оборачиваемости активов;

- влияние финансового результата по прочей текущей деятельности также у пяти организаций оказалось негативным, то есть привело к уменьшению налого-

облагаемой и чистой прибыли.

В соответствии с поставленной целью в исследовании была решена задача установления общих для совокупности текстильных организаций причинно-следственных связей в формировании показателя рентабельности собственного капитала. Указанная задача решалась с помощью методов корреляционно-регрессионного анализа:

- построения корреляционных полей, наглядно демонстрирующих зависимость рентабельности собственного капитала от отдельных факторов предложенной модели (рисунок 1);

- расчёта уравнений регрессии по различным формам связи: линейной, полиномиальной, степенной, экспоненциальной;

- выбор уравнения регрессии по наибольшему значению коэффициента детерминации R^2 (таблица 6).

Наиболее существенными факторами, влияющими на уровень рентабельности собственного капитала по исследуемой совокупности организаций, оказались коэффициент налогового бремени, коэффициент влия-

Таблица 5 – Результаты факторного анализа динамики рентабельности собственного капитала в 2023 году (в коэффициентах)

Table 5 – Results of factor analysis of the dynamics of return on equity in 2023 (in coefficients)

Номер организации	Изменение рентабельности собственного капитала под воздействием динамики факторов:						Общее изменение рентабельности собственного капитала в 2023 году по сравнению с 2022 годом
	коэффициента налогового бремени	коэффициента влияния инвестиционной и финансовой деятельности	коэффициента влияния прочей текущей деятельности	рентабельности продаж	коэффициента оборачиваемости активов	коэффициента капитализации	
1	- 0,0074	0,0622	- 0,0046	- 0,0028	- 0,0003	- 0,0001	0,0469
2	- 0,0031	- 0,0193	- 0,0089	0,0254	- 0,0206	- 0,0098	- 0,0364
3	0,0020	- 0,0311	- 0,0066	- 0,0238	- 0,0108	0,0041	- 0,0661
4	- 0,0052	0,0150	- 0,0223	-0,0121	- 0,0006	- 0,0011	- 0,0262
5	0,0016	- 0,0023	0,0033	0,0040	0,0012	- 0,0002	0,0077
6	- 0,0040	0,0304	0,0020	- 0,0403	0,0132	0,0056	0,0069
7	0,0002	0,0004	0,0011	- 0,0006	- 0,0005	- 0,0001	0,0004
8	0,0002	0,0740	- 0,0180	0,0022	0,0052	- 0,0071	0,0565

Источник: составлено авторами.

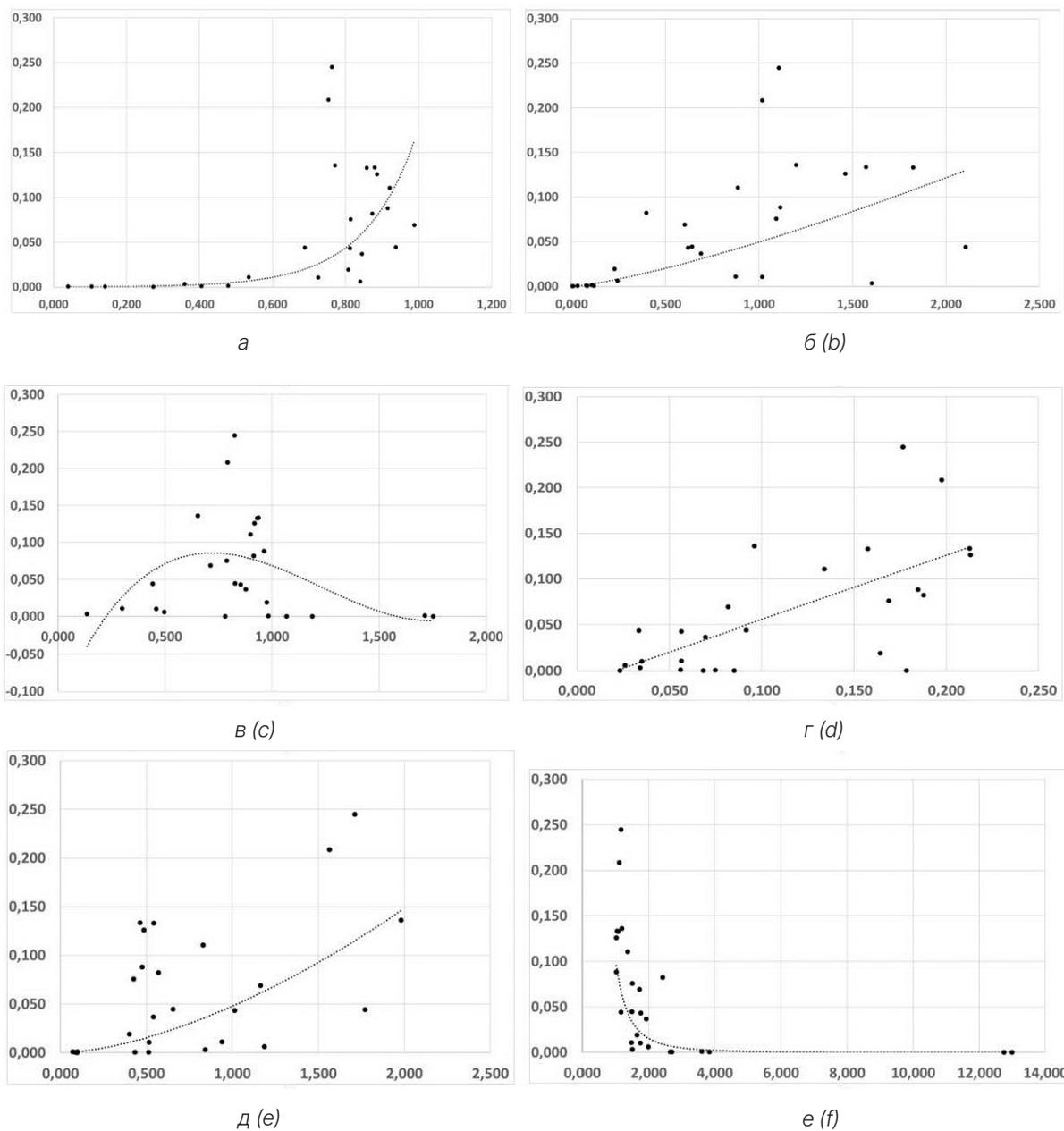


Рисунок 1 – Корреляционные поля зависимости рентабельности собственного капитала (y) от факторов:

а) коэффициента налогового бремени; б) коэффициента влияния инвестиционной и финансовой деятельности; в) коэффициента влияния прочей текущей деятельности; г) рентабельности продаж;

д) коэффициента оборачиваемости активов; е) коэффициента финансового рычага

Figure 1 – Correlation fields of the dependence of return on equity (y) on the factors: а) tax burden coefficient; б) coefficient of influence of investment and financial activities; в) coefficient of influence of other current activities; г) sales profitability; е) asset turnover coefficient; ф) financial leverage coefficient

Таблица 6 – Результаты корреляционно-регрессионного анализа влияния отдельных факторов на рентабельность собственного капитала

Table 6 – Results of correlation and regression analysis of the influence of individual factors on return on equity

Признак-фактор	Вид зависимости	Уравнение регрессии	Коэффициент детерминации, R ²
Коэффициент налогового бремени	Экспоненциальная	$y = 0,0002e^{6,9875x}$	0,7853
Коэффициент влияния инвестиционной и финансовой деятельности	Степенная	$y = 0,0497x^{1,2926}$	0,7070
Коэффициент влияния прочей текущей деятельности	Полиномиальная	$y = 0,1736x^3 - 0,6394x^2 + 0,6503x - 0,1156$	0,2278
Рентабельность продаж	Линейная	$y = 0,7026x - 0,0146$	0,4499
Коэффициент оборачиваемости активов	Степенная	$y = 0,048x^{1,6288}$	0,4619
Коэффициент финансового рычага	Степенная	$y = 0,1016x^{2,722}$	0,6788

Источник: составлено авторами.

ния инвестиционной и финансовой деятельности и коэффициент финансового рычага. Несмотря на рост ставки налога на прибыль в исследуемом периоде наблюдаем положительное влияние фактора налогового бремени, что может свидетельствовать об оптимизации налоговой политики текстильных организаций в части освобождения от уплаты налогов либо использования установленных законодательно льгот. Положительное влияние коэффициента, учитывающего финансовый результат инвестиционной и финансовой деятельности организаций, подчёркивает тот факт, что в большинстве из наблюдаемых случаев организации получали прибыль от этих видов деятельности, которая увеличивала общую величину налогооблагаемой прибыли. Отрицательное влияние коэффициента капитализации на рентабельность собственного капитала в данном случае может рассматриваться как снижение финансовых рисков организаций, то есть наращивание активов за счёт собственного, а не заёмного капитала.

В наименьшей степени поддаётся математическому или функциональному описанию взаимосвязь рентабельности собственного капитала и коэффициента влияния результатов прочей текущей деятельности на показатели прибыли. Построенное корреляционное поле и полученная полиномиальная модель указывают на изменчивый характер этой зависимости, что, по нашему мнению, связано со многими факторами или направлениями доходов и расходов, с одной стороны, а

также с весомостью этих доходов и расходов по отношению к объёму продаж продукции и полученной от этого прибыли. Выполняя свои социальные обязательства, несмотря на снижение рентабельности продаж, бизнес значительно уменьшает свою прибыль от текущей деятельности.

Прямая линейная зависимость у рентабельности собственного капитала по анализируемым организациям наблюдается только с рентабельностью продаж. Положительное влияние демонстрирует и такой фактор, как оборачиваемость активов, хотя характер этого влияния описывается степенной функцией.

Выводы

Развитие рыночных инструментов хозяйствования в национальной экономике привело к необходимости пересмотра подходов к оценке доходности бизнеса. Устойчивую позицию занимает, например, понимание того, что главной целью управления бизнесом является увеличение его стоимости. Применение стоимостного подхода и показателя прироста стоимости бизнеса становится играть важную роль в оценке акционерного (собственного) капитала. Особую актуальность приобретает развитие данного направления оценки бизнеса для организаций Республики Беларусь, так как основной организационной формой национальных экономических субъектов стали открытые акционерные общества. Чистые активы или собственный капитал заложены в основу определения стоимости того или

иного бизнеса по наиболее распространённому затратному способу и эффективность их использования, безусловно, становятся ключевыми показателями в системе критериев его успешности. При этом фундаментальным критерием эффективного бизнеса будет являться рост его стоимости путём наращивания капитализации. В этой связи традиционные для национальной практики показатели рентабельности продаж или рентабельности продукции уже рассматриваются не как итоговые показатели прибыльности бизнеса, а как факторы, формирующие рентабельность собственного капитала либо рентабельность активов.

Адаптация разработанных в международной аналитической практике моделей финансового анализа к национальным условиям требует учета особенностей классификации доходов и расходов организаций и порядка формирования финансовой отчетности, как основного информационного источника анализа.

Разработанная модель рентабельности собственного капитала и её апробация в условиях отдельных текстильных организаций Республики Беларусь позволяют сделать следующие выводы:

- большинство объектов исследования в анализируемом периоде демонстрируют рост рентабельности собственного капитала, однако увеличивается доля организаций с обратной тенденцией;
- в качестве резервов роста рентабельности собственного капитала могут быть определены все факторы разработанной модели, так как положительное влияние того или иного фактора на динамику результирующего показателя в одной организации сопровожда-

ется обратной ситуацией в условиях другой организации.

Применение методов корреляционно-регрессионного анализа позволило установить общие для организаций закономерности в исследуемом периоде:

- по исследуемой статистической совокупности выявлена прямая линейная зависимость между рентабельностью собственного капитала и рентабельностью продаж, однако существенность этой зависимости находится на среднем уровне, что вызвано сильным влиянием структурных характеристик формирования прибыли до налогообложения и, следовательно, чистой прибыли;

- наиболее сильную зависимость рентабельность собственного капитала текстильных организаций имеет от таких факторов как налоговая нагрузка, результативность инвестиционной и финансовой деятельности и коэффициент капитализации, которые в то же время демонстрируют разнонаправленное влияние;

- слабое влияние результативности прочей текущей деятельности на рентабельность собственного капитала связано с тем, что убыток от прочей текущей деятельности в значительной степени нивелируется прибылью, полученной от реализации продукции.

Таким образом, применение разработанной факторной модели в практике анализа рентабельности деятельности коммерческой организации позволит более успешно выявлять резервы повышения эффективности использования собственного капитала и решать вопросы финансового менеджмента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Авдюшина, М.А. (2023). Факторный анализ рентабельности организации с учетом риска финансирования. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, том 4, № 2, С. 141–150.

Баркар, А.А. (2017). Инструментарий антикризисной финансовой диагностики предприятий на рынке недвижимости. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, том 33, № 4, С. 658–672. DOI: 10.21638/11701/srbu05.2017408.

Березинец, И.В., Удовиченко, О.М. и Девкин, А.А. (2016). Прогнозирование рентабельности российских компаний с использованием отраслевой модели Дюпон. *Российский журнал менеджмента*, № 1, С. 3–28.

Диденко, Е.С. (2022). Повышение рентабельности компаний молочной промышленности России в качестве механизма устойчивого развития предприятий. *Вестник Северо-Кавказского федерального университета*, том 3, С. 73–78.

Лудина, О.И. и Давлетгуловаб В.Д. (2023). Анализ финансовых показателей деятельности на примере сельскохозяйственной организации. *Научное обозрение. Экономические науки*, том 4, С. 22–27.

Елисеева, Е.Н. (2019). Совершенствование инструментария оценки вероятности банкротства (на примере конструкторской машиностроительной организации). *Вестник Евразийской науки*, № 4(11), <https://esj.today/PDF/45ECVN419.pdf>.

Жирова, Г.В. (2023). Рентабельность предприятия: понятие, сущность и основные коэффициенты. *Молодой ученый*, том 52, № 499, С. 78–80.

Казаков, А.В. и Колышкин, А.В. (2018). Разработка моделей прогнозирования банкротства в современных российских условиях. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, том 34, № 2, С. 241–266. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2018.203.

Ковалев, Вит.В. и Воронова, Е.А. (2019). Логика и критерии оценки финансового состояния лизинговой компании. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика*, том 35, № 1, С. 50–82. DOI:10.21638/spbu05.2019.103.

Кожушко, Е.А. (2022). Методики расчета и анализа рентабельности как одного из основных показателей эффективности деятельности предприятия. *Молодой ученый*, том 48, № 443, С. 124–126.

Матюшина, И.Л. (2019). Факторный анализ рентабельности на основе моделей Дюпона и практическое их применение. *Balkan Scientific Review. Economic sciences*, том 3, № 4(6), С. 96–98.

Миляев, А.В. (2021). Рентабельность предприятия: показатели эффективности управления. *Планово-экономический отдел*, № 10, с. 6–10.

Орлова, Е.В. (2023). Технология и модели обеспечения финансовой безопасности предприятия в условиях санкционных ограничений. *Экономика. Информатика*, том 50, № 3, С. 612–623. DOI:10.52575/2687-0932-2023-50-3-612-623.

Полуянцевич, О.И. (2018). Факторный анализ рентабельности собственного капитала предприятия по методу Дюпон. *Juvenis scientia. Экономические науки*, том 9, С. 17–19.

Романова, И.В. и Волгина, И.В. (2021). Модели, этапы и информационная база анализа финансового состояния в процессе управления предприятием. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, том 4, № 2, С. 257–261.

Ромашкова, О.Н. и Фролов, П.А. (2016). Технология расчета показателей прибыли и рентабельности в коммерческой организации. *Фундаментальные исследования*, том 4, № 1, С. 102–106.

Троицкий, А.В., Байкова, О.В., Бренц В.И. и Разинков, М.И. (2022). Финансовый анализ ведущих нефтегазовых компаний Российской Федерации за 2021 год. *Государственный университет управления, г. Москва, Российская Федерация. Вестник университета*, № 11, С. 162–170.

Хамчуков, Д.Ю. (2015). Использование показателей рентабельности для сравнительного анализа эффективности работы промышленности. *Белорусский экономический журнал*, № 2, С. 110–133.

Щукина, М.В. (2021). Рентабельность активов: подходы и концепции. *Вестник Алтайской академии экономики и права*, том 4, № 1, С. 138–143.

REFERENCES

Avdyushina, M.A. (2023). Factor analysis of the profitability of the organization, taking into account the risk of financing [Faktornyy analiz rentabelnosti organizatsii s uchetom riska finansirovaniya]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, vol. 4, № 2, pp. 141–150 [In Russian].

Barkar, A.A. (2017). Tools for anti-crisis financial diagnostics of enterprises in the real estate market [Instrumentariy antikrizisnoy finansovoy diagnostiki predpriyatiy na rynke nedvizhimosti]. *Vestnik SPbGU. Ekonomika = Bulletin of St. Petersburg State University. Economics*, vol. 33, № 4, pp. 658–672. DOI: 10.21638/11701/spbu05.2017408 [In Russian].

Berezinets, I.V., Udovichenko, O.M. and Devkin, A.A. (2016). Forecasting the profitability of Russian companies using the DuPont industry model [Prognozirovanie rentabelnosti rossiyskikh kompaniy s ispolzovaniem otraslevoy modeli Dyupon]. *Rossiyskiy zhurnal menedzhmenta = Russian Journal of Management*, № 1, pp. 3–28 [In Russian].

Didenko, E.S. (2022). Increasing the profitability of Russian dairy industry companies as a mechanism for the sustainable development of enterprises [Povyshenie rentabelnosti kompaniy molochnoy promyshlennosti Rossii v kachestve mekhanizma ustoychivogo razvitiya predpriyatiy]. *Vestnik Severo-Kavkazskogo federalnogo universiteta = Bulletin of the North*

Caucasus Federal University, vol. 3, pp. 73–78 (In Russian).

Dudina, O.I. and Davletgulova, V.D. (2023). Analysis of financial performance indicators on the example of an agricultural organization Scientific review [Analiz finansovykh pokazateley deyatel'nosti na primere selskokhozyaystvennoy organizatsii Nauchnoe obozrenie]. *Ekonomicheskie nauki = Economic Sciences*, vol. 4, pp. 22–27 (In Russian).

Eliseeva, E.N. (2019). Improving the tools for assessing the probability of bankruptcy (using the example of a design engineering organization) [Sovershenstvovanie instrumentariya otsenki veroyatnosti bankrotstva (na primere konstruktorskoj mashinostroitel'noy organizatsii)]. *Vestnik Evraziyskoy nauki = Bulletin of Eurasian Science*, № 4(11). URL: <https://esj.today/PDF/45ECVN419.pdf> (In Russian).

Zhirova, G.V. (2023). Profitability of the enterprise: the concept, essence and main coefficients [Rentabelnost predpriyatiya: ponyatie, sushchnost i osnovnye koeffitsienty]. *Molodoy uchenyy = The Young Scientist*, vol. 52, № 499, pp. 78–80 (In Russian).

Kazakov, A.V. and Kolyshkin, A.V. (2018). Development of bankruptcy forecasting models in modern Russian conditions [Razrabotka modeley prognozirovaniya bankrotstva v sovremennykh rossiyskikh usloviyakh]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, vol. 34, № 2, pp. 241–266 (In Russian). DOI: 10.21638/11701/spbu05.2018.203.

Kovalev, V.V. and Voronova, E.A. (2019). The logic and criteria for assessing the financial condition of a leasing company [Logika i kriterii otsenki finansovogo sostoyaniya lizingovoy kompanii]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta = Bulletin of St. Petersburg University. Economics*, vol. 35, № 1, pp. 50–82 (In Russian). DOI:10.21638/spbu05.2019.103.

Kozhushko, E.A. (2022). Methods of calculating and analyzing profitability as one of the main indicators of the company's performance [Metodiki rascheta i analiza rentabelnosti kak odnogo iz osnovnykh pokazateley effektivnosti deyatel'nosti predpriyatiya]. *Molodoy uchenyy = The Young Scientist*, vol. 48, № 443, pp. 124–126 (In Russian).

Matyushina, I.L. (2019). Factor analysis of profitability based on Dupont models and their practical application [Faktorny analiz rentabelnosti na osnove modeley Dyupona i prakticheskoe ikh primenenie]. *Balkan Scientific Review. Economic sciences = Balkan Scientific Review. Economic sciences*, vol. 3, № 4(6), pp. 96–98 (In Russian).

Milyaev, A.V. (2021). Profitability of the enterprise: indicators of management efficiency [Rentabelnost predpriyatiya: pokazateli effektivnosti upravleniya]. *Planovo-ekonomicheskij otdel = Planning and Economic Department*, № 10, pp. 6–10 (In Russian).

Orlova, E.V. (2023). Technology and models for ensuring the financial security of an enterprise in the context of sanctions restrictions [Tekhnologiya i modeli obespecheniya finansovoy bezopasnosti predpriyatiya v usloviyakh sanktsionnykh ogranicheniy]. *Ekonomika. Informatika = Economy. Computer Science*, vol. 50, № 3, pp. 612–623 (In Russian). DOI:10.52575/2687-0932-2023-50-3-612-623.

Poluyantsevich, O.I. (2018). Factor analysis of the return on equity of an enterprise using the DuPont method [Faktorny analiz rentabelnosti sobstvennogo kapitala predpriyatiya po metodu Dyupon]. *Juvenis scientia. Ekonomicheskie nauki = Juvenis scientia. Economic Sciences*, vol. 9, pp. 17–19 (In Russian).

Romanova, I.V. and Volgina, I.V. (2021). Models, stages and information base of the analysis of the financial condition in the process of enterprise management [Modeli, etapy i informatsionnaya baza analiza finansovogo sostoyaniya v protsesse upravleniya predpriyatiem]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava = Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, vol. 4, № 2, pp. 257–261 (In Russian).

Romashkova, O.N. and Frolov, P.A. (2016). Technology for calculating profit and profitability indicators in a commercial organization [Tekhnologiya rascheta pokazateley pribyli i rentabelnosti v kommercheskoy organizatsii]. *Fundamentalnye issledovaniya = Fundamental Research*, vol. 4, № 1, pp. 102–106 (In Russian).

Troitskiy, A.V., Baykova, O.V., Brents, V.I. and Razinkov, M.I. (2022). Financial analysis of the leading oil and gas companies of the Russian Federation for 2021 [Finansovyy analiz vedushchikh neftegazovykh kompaniy Rossiyskoy Federatsii za 2021 god]. *Gosudarstvennyy universitet upravleniya, g. Moskva, Rossijskaya Federaciya. Vestnik universiteta = State University of Management, Moscow, Russian Federation. Bulletin of the University*, № 11, pp. 162–170 (In Russian).

Khamchukov, D.Y. (2015). The use of profitability indicators for a comparative analysis of the efficiency of the industry [Ispolzovanie pokazateley rentabelnosti dlya sravnitel'nogo analiza effektivnosti raboty promyshlennosti]. *Belorusskiy*

ekonomicheskiy zhurnal = *Belarusian Economic Journal*, № 2, pp. 110–133 [In Russian].

Shchukina, M.V. (2021). Return on assets: approaches and concepts [Rentabelnost aktivov: podkhody i kontseptsii]. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava* = *Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, vol. 4, № 1, pp. 138–143.

Информация об авторах

Information about the authors

Касаева Тамара Васильевна

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: KasaevaTV@mail.ru

Шеремет Ольга Олеговна

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: olga_sherstneva@mail.ru

Tamara V. Kasayeva

Candidate of Science (in Engineering), Chair of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: KasaevaTV@mail.ru

Olga O. Sheremet

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: olga3046104@mail.ru

Мониторинг и планирование местного территориального развития как моделируемый бизнес-процесс: на примере самоуправлений Латвии

В. Комарова¹, Э. Чижо¹,
Т. Бороненко²

¹Даугавпилсский университет, Латвийская Республика

²Рижский технический университет, Латвийская Республика

Аннотация. Актуальность темы исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности процессов мониторинга и планирования местного территориального развития, которые в настоящее время не систематизированы и недостаточно структурированы в самоуправлениях Латвии. В условиях растущей потребности в прозрачности и результативности муниципального управления, использование инструментов моделирования бизнес-процессов (МБП) является актуальной задачей.

Проблема заключается в том, что самоуправления Латвии слабо используют современные подходы к мониторингу и планированию территориального развития, что снижает качество принимаемых решений и замедляет экономический рост. Отсутствие структурированных моделей усложняет анализ и оптимизацию процессов.

Целью исследования является разработка модели мониторинга и планирования территориального развития в Латвии как бизнес-процесса, используя IDEF0 и BPMN. Для достижения этой цели исследователи используют методы анализа литературы, моделирования бизнес-процессов, включённое исследование в одном из самоуправлений и статистический анализ данных опроса 43 сотрудников административных структур самоуправлений Латвии (по общему количеству самоуправлений, май-июнь 2024 года).

Результаты исследования свидетельствуют об умеренном общем уровне зрелости МБП в самоуправлениях Латвии. Кроме того, уровни зрелости МБП, особенно в отношении методов и культуры, являются статистически значимыми детерминантами местного экономического развития. В частности, каждый дополнительный балл (в уравнении линейной регрессии) по связанным с процессами методам и культуре увеличивает среднегодовой подоходный налог на душу населения в среднем на 113,6 и 112,6 евро соответственно. Результаты дискриминантного анализа показывают, что на основании уровней зрелости МБП можно с точностью 95,3 % классифицировать самоуправления Латвии по группам с менее развитой экономикой и более развитой экономикой.

Ключевые слова: местное территориальное развитие, мониторинг, планирование, бизнес-процесс, моделирование бизнес-процессов (МБП), управление бизнес-процессами (УБП), модель зрелости бизнес-процессов (МЗБП), самоуправления Латвии.

Информация о статье: поступила 26 сентября 2024 года.

Monitoring and planning of local territorial development as a modelable business process: the case of Latvian municipalities

Vera Komarova¹, Edmunds Cizo¹,
Timurs Boronenko²

¹Daugavpils University, Republic of Latvia

²Riga Technical University, Republic of Latvia

Abstract. The relevance of the study is driven by the need to improve the efficiency of monitoring and planning processes for local territorial development, which are currently unstructured and insufficiently systematized in Latvian municipalities. With the growing demand for transparency and effectiveness in municipal governance, the application of business process modeling (BPMdl) tools is a pressing issue.

The problem is that Latvian municipalities make limited use of modern approaches to monitoring and planning territorial development, which reduces the quality of decision-making and slows down economic growth. The lack of structured models complicates the analysis and optimization of these processes.

The aim of the study is to develop a model that represents the monitoring and planning of territorial development in Latvia as a business process, using the IDEF0 and BPMN notations. To achieve this goal, the researchers employed methods such as literature analysis, business process modeling, participatory research in one municipality, and statistical analysis of survey (May-June 2024) data from administrative staff of Latvian municipalities (43 persons, based on the total number of local governments).

The results of the empirical analysis indicate a moderate overall level of BPMdl maturity in Latvian municipalities. Furthermore, BPMdl maturity levels, especially in terms of methods and culture, are statistically significant determinants of local economic development. Specifically, each additional point (in the linear regression equation) for process-related practices and culture increases the average annual income tax per capita by an average of 113.6 and 112.6 euros, respectively. The results of the discriminant analysis show that, based on BPMdl maturity levels, it is possible to classify Latvian municipalities into groups with a less developed economy and a more developed economy with an accuracy of 95.3 %.

Keywords: local territorial development, monitoring, planning, business process, business process modeling (BPMdl), business process management (BPMng), Business Process Maturity Model (BPMM), Latvian municipalities.

Article info: received September 26, 2024.

Введение

Бизнес-процесс – это ряд задач или действий, которые систематически организуются и реализуются для достижения определённой цели предприятия, организации или учреждения (Weske, 2012). Эти процессы могут значительно различаться по сложности и масштабу, начиная от простых процедур – таких как доставка заказов, – до сложных рабочих потоков (англ. workflows) – таких как разработка продукта и управление цепочкой поставок (van der Aalst & van Hee, 2002). Ключевые характеристики бизнес-процесса включают в себя (van der Aalst, 2016): 1) определённую последовательность шагов (чёткую последовательность действий, которые необходимо выполнить);¹ 2) задачу или цель (конкретный результат или цель, которую процесс стремится достичь); 3) вложения и результаты (англ. inputs and outputs) (ресурсы или информация, которые используются для получения конечного результата); 4) участники (отдельные лица, команды или системы, участвующие в выполнении процесса); 5) правила и регулирующая политика (руководящие принципы, которые диктуют, как должны выполняться задачи).

В разных источниках определение и ключевые элементы бизнес-процесса могут варьироваться, но важнейшим компонентом бизнес-процесса, отличающим его от всех других процессов, является его повторяемость (регулярность). В свою очередь, все процессы, происходящие на этапе становления и начального раз-

вития предприятия, организации или учреждения, не являются бизнес-процессами, поскольку имеют пробный, неустоявшийся характер. Что касается ключевых элементов бизнес-процесса, отображаемых в его модели, то, при всех вариациях определений и терминологии из разных источников, они всегда включают в себя четыре ключевых элемента, содержащихся в старом, широко распространённом и до сих пор используемом программном продукте IDEF0²: вложения (англ. inputs) – на схеме бизнес-процесса всегда располагаются слева от блока, изображающего одно из последовательных действий (англ. activity) бизнес-процесса; результаты (англ. outputs) – всегда располагаются справа; механизмы (англ. mechanisms) – всегда располагаются снизу; контролирующие элементы (англ. controls) – всегда располагаются сверху. В то время как IDEF0 сосредоточен на функциональных аспектах процессов (вложения, результаты, механизмы, контролирующие элементы), современный программный продукт для моделирования бизнес-процессов – BPMN – обеспечивает более динамичное и подробное представление бизнес-процессов (Garcia-Dominguez, Marcos & Medina, 2012; Marlon, La Rosa & Mendling, 2019).

Применительно к контексту местного территориального развития бизнес-процесс охватывает системный подход, используемый для оценки, планирования и реализации стратегий улучшения и роста определённой географической области. Это включает в себя ряд

¹ Иногда бизнес-процесс включает в себя также параллельные действия, которые не зависят от завершенности друг друга и могут выполняться параллельно (Ng, 2024).

² IDEF0. (1993) Integration Definition for Function Modelling. Draft Federal Information Processing Standards Publications (FIPS PUBS), № 183, USA.

взаимосвязанных мероприятий, направленных на мониторинг текущих условий и планирование будущих действий (Mickevičius, Valčiukienė & Juknelienė, 2022). В то время как коммерческие предприятия применяют методы управления процессами, поскольку они принимают это как необходимость в плане достижения долгосрочной эффективности бизнеса, услуги территориального управления ещё не являются процессно-управляемыми (Simonova & Sykora, 2011). Так происходит не потому, что государственные/муниципальные учреждения не заинтересованы в применении методов мониторинга и управления качеством. Причина в том, что предоставляемые ими услуги имеют определённую специфику (например, правовую базу) (Maksin, 2014; Simonova & Sykora, 2011), которая сильно влияет на эффективность процессов, например, в местных самоуправлениях (Marks-Bielska & Kurowska, 2017; Marks-Bielska, Wojarska, Lizinska & Babuchowska, 2020). Наше исследование сосредоточено на возможностях использования моделирования процессов для мониторинга и планирования местного территориального развития, чтобы эти услуги в Латвии могли бы стать более процессно-управляемыми и наблюдаемыми.

Целью статьи является разработка модели мониторинга и планирования местного территориального развития как бизнес-процесса. Мы планируем достичь этой цели на примере самоуправлений Латвии и используя доступные ИТ для моделирования бизнес-процессов. Наша гипотеза заключается в том, что моделирование бизнес-процессов для мониторинга и планирования местного территориального развития возможно, и оно повышает уровень этого развития, но мало используется в самоуправлениях Латвии. Эта гипотеза проверяется с помощью анализа литературы, использования инструментов моделирования бизнес-процессов, включённого исследования в самоуправлении Аугшдаугавского края и статистического анализа данных опроса 43 сотрудников административных структур самоуправлений Латвии (по общему количеству самоуправлений, май-июнь 2024 года).

Обзор литературы: научные исследования по моделированию бизнес-процессов в контексте местного территориального развития

В контексте местного территориального развития и органов государственного/муниципального управления процессный подход часто декларируется в различных стратегических документах, в которых излагаются

цели, принципы и методы повышения эффективности, прозрачности и качества управленческих услуг. Некоторые из ключевых стратегических документов, которые обычно акцентируют процессный подход, включают в себя национальные стратегии электронного управления, планы реформирования государственного управления, системы управления качеством в государственном секторе, стратегии модернизации государственного управления, национальные планы развития и другие стратегические документы. В реальности же роль процессного управления часто недооценивается (Bures, 2004; Simonova & Sykora, 2011), а моделирование бизнес-процессов в контексте местного территориального развития является довольно специфической и редкой темой для научного изучения. Однако и в этой области есть некоторые глубокие и интересные исследования.

Например, в рамках исследования «Моделирование процессов для регионального территориального планирования» (Simonova & Sykora, 2011) изучается применение методов моделирования процессов к услугам государственного управления. При этом особое внимание уделяется региональному территориальному планированию. Основная цель исследования – изучить, как моделирование процессов может улучшить управление и мониторинг услуг территориального планирования, которые традиционно не использовали такие методы из-за своей специфичности (Simonova & Sykora, 2011). С практической точки зрения это – единственное обнаруженное нами научное исследование, в рамках которого предпринята попытка напрямую адаптировать принципы моделирования бизнес-процессов к территориальному развитию при помощи реальных моделей (с использованием BPMN) процессов и их контекста, было исследование «Моделирование процессов для регионального территориального планирования» (Simonova & Sykora, 2011).

В исследовании «Моделирование процессов для регионального территориального планирования» делается вывод о том, что моделирование процессов и данных является эффективным инструментом управления региональным территориальным планированием. Это предполагает, что постоянное измерение и совершенствование процессов на основе предлагаемых показателей может привести к значительному повышению эффективности и качества регионального территориального планирования (Simonova & Sykora, 2011). Таким образом, исследователи подчёркивают потенциальные

преимущества применения методов управления процессами к региональному территориальному планированию, выступая за более структурированный и стандартизированный подход к обработке территориальных данных и процессам принятия решений. Этот подход направлен на повышение эффективности, прозрачности и общего качества услуг государственного/муниципального управления в контексте территориального развития.

В исследовании «Влияние эффективности управления процессами территориального планирования на развитие территорий: на примере муниципалитета Пагегяй, Литва» (Mickevičius, Valčiukienė & Juknelienė, 2022) утверждается, что поэтапность процессов подготовки документов территориального планирования, в зависимости от управляющего этими процессами учреждения, затрудняет – установленными процедурными действиями – подготовку документов территориального планирования. Объектом исследования стали специальные документы территориального планирования, подготовленные в муниципалитете Пагегяй, который был выбран для изучения в связи с тем, что в последнее время подготовка документов территориального планирования в этом муниципалитете замедлилась. Использование многокритериального анализа (в компьютерной программе PROMETHEE) для оценки эффективности подготовленных документов территориального планирования является важным аспектом вышеназванного исследования. Критерии оценки включают в себя продолжительность подготовки документов, вовлечение общественности, экологические и экономические условия, развитость инфраструктуры и размер территории планирования (Mickevičius, Valčiukienė & Juknelienė, 2022). Анализ процессов подготовки документов территориального планирования и интервью с экспертами выявил, что выполняемые муниципалитетами процессы территориального планирования неэффективны, поскольку не все муниципалитеты последовательно выполняют необходимые действия, задерживают (по отношению к установленным законом срокам) принятие запланированных решений. По мнению экспертов, причиной неэффективности управления процессами территориального планирования является недостаток человеческих ресурсов или их недостаточная компетентность. Неэффективность процессов, особенно в плане задержки и последовательного выполнения необходимых действий, определяется исследователями как существенное пре-

пятствие для эффективного территориального планирования и развития в муниципалитете Пагегяй (Mickevičius, Valčiukienė & Juknelienė, 2022). По нашему мнению, выяснение причин неэффективности процессов с помощью чисто научного метода – экспертного опроса – является конкурентным преимуществом вышеназванного исследования, которое применимо в нашем дальнейшем исследовании.

Что касается Латвии, то в связи с темой нашего исследования особый интерес представляет проект «Разработка процессов планирования территориального развития и информационной системы»³. Проект обеспечил улучшение уже функционирующей Информационной системы планирования территориального развития (<https://tapis.gov.lv>). Главной целью проекта было развитие территориального планирования, управления недвижимостью и организация потока данных по строительству, а также создание интегрированной среды данных. Для достижения этой цели было обеспечено дальнейшее функциональное развитие Информационной системы планирования территориального развития и Модуля показателей регионального развития, повышение эффективности и операционной совместимости государственного управления в управлении недвижимостью и строительством.

Хотя вышеназванный проект не является научным, а скорее прикладным, необходимость структурированных интегрированных данных для моделирования процессов в контексте территориального развития хорошо обоснована проведенными в Латвии научными исследованиями. Например, исследование по интеллектуальному территориальному развитию в Латвии, сфокусированное на Земгальском регионе планирования (Gemma & Vitoliņa, 2018), подчёркивает роль систем данных в увеличении инновационного потенциала, мониторинге регионального развития и решении проблем моноцентричного развития, что соответствует также и задачам проекта. Модуль показателей регионального развития признаётся исследователями как важнейший инструмент для мониторинга регионального развития, поддержки принятия решений и оценки тенденций развития муниципальных территориях (Gemma & Vitoliņa, 2018). Это соответствует

³ Putniņš, A. (2020). Project "Development of Territorial Development Planning Processes and Information System" (TAPIS 3rd round), [Online], URL: https://www.vraa.gov.lv/en/projects/project-development-territorial-development-planning-processes-and-information-system-tapis-3rd-round?utm_source=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F [Accessed: 22.09.2024].

цели проекта по созданию структурированной среды данных для лучшего планирования территориального развития и большей эффективности государственного управления. Ещё одно исследование (Nipers, Pilvere & Bulderberga, 2017) подчёркивает несколько аспектов, которые указывают на важность и актуальность структурированных интегрированных данных, таких как предоставляемые TAPIS, в контексте интеллектуального территориального развития. В рамках вышеназванного исследования обсуждается значимость таких данных в обосновании региональной политики и планирования, особенно в контексте финансирования ЕС и стратегий регионального развития, которые ещё больше актуализируют необходимость интегрированных систем данных для содействия сбалансированному территориальному развитию (Nipers, Pilvere & Bulderberga, 2017). Таким образом, латвийские научные исследования подтверждают необходимость специальных структурированных интегрированных данных, таких как данные Информационной системы планирования территориального развития и Модуля показателей регионального развития, для эффективного моделирования процессов и интеллектуального территориального развития в Латвии.

Возникает вопрос: используются ли столь важные интегрированные данные (предоставленные вышеназванным проектом для эффективного моделирования процессов) в научных исследованиях и реальном мониторинге и планировании местного территориального развития? Например, недавно защищённая в Латвии докторская диссертация «Предпосылки развития муниципального руководства окружающей средой» (Lagzdīņa, 2023) не упоминает об использовании данных Информационной системы планирования территориального развития или Модуля показателей регионального развития, при этом подчёркивая, что успешное руководство окружающей средой требует адекватного потока информации между наукой и политикой. Это включает в себя предоставление локально специфической экологической информации, которая доступна и может быть использована для реализации процессов и принятия решений. В настоящее время имеется недостаток такой информации, что препятствует эффективному руководству окружающей средой (Lagzdīņa, 2023). В то же время самоуправления Латвии используют данные Информационной системы планирования территориального развития и Модуля показателей регионального развития в своих годовых общественных

отчётах – например, в Общественном отчёте самоуправления Аугшдаугавского края за 2022 год самоуправление использует эти данные для мониторинга и планирования проектов в сфере недвижимости (включая сведения о развитии инфраструктуры и строительных проектах, которые являются частью инициатив местного самоуправления), для мониторинга и оценки реализации различных проектов в области охраны окружающей среды и культурного наследия, для анализа экономических тенденций и демографических изменений в муниципалитете (включая статистику по зарегистрированным и ликвидированным предприятиям, уровню занятости и динамике населения), для комплексного представления о текущих и планируемых проектах развития.⁴

Существуют также некоторые технические научные исследования, концепции и методы которых могут применяться в моделировании процессов для мониторинга и планирования местного территориального развития. Например, два ключевых аспекта агрегирования бизнес-процессов и веб-услуг (Bruni, Melgratti & Montanari, 2005b): компенсации, т. е. специальные действия, которые могут отменить последствия незавершённого или ошибочного процесса, и транзакционные границы для разграничения областей транзакционного потока. По нашему мнению, в контексте местного территориального развития компенсации (компенсационные действия) могут использоваться для работы с неожиданными изменениями или сбоями в процессах мониторинга и планирования. В частности, если процессы сталкиваются с задержками или сбоями, компенсационные действия (перераспределение средств на другие текущие процессы, инициирование временных решений для удовлетворения неотложных потребностей и т. д.) могут быть заранее определены для смягчения нежелательного воздействия. В свою очередь, транзакционные границы определяют область, в которой ряд действий рассматривается как единое целое. В рамках мониторинга и планирования местного территориального развития эти границы могут помочь управлять сложными процессами, включающими множество взаимозависимых задач и участников. Например, каждый этап мониторинга и планирования может рассматриваться в пределах транзак-

⁴ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augšdaugava County (Latvia)]. [2023a]. 2022. gada publiskais pārskats [Public Report 2022], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2022-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

ционной границы. Это гарантирует, что все задачи одного этапа будут успешно завершены перед переходом к следующему этапу (например, сбор данных, обработка и анализ данных, написание текста отчёта могут быть разделены транзакционными границами).

В целом результаты обзора научных исследований по моделированию бизнес-процессов в контексте местного территориального развития согласуются с первой частью нашей исследовательской гипотезы о том, что моделирование бизнес-процессов для мониторинга и планирования местного территориального развития возможно, и оно повышает уровень этого развития (косвенно, за счёт повышения эффективности его мониторинга и планирования, или «институциональной эффективности» [Marks-Bielska & Kurowska, 2017]).

Концептуальная основа и методология исследования

В рамках нашего исследования (как и почти во всей проанализированной литературе по моделированию бизнес-процессов) моделирование концептуально понимается как мыслительная абстракция, воспроизведение реально существующей системы (в т. ч. и про-

цесса) с помощью специально сконструированных моделей [Polak, Merunka & Carda, 2003]. Модели бизнес-процессов были разработаны для того, чтобы иметь возможность описывать, документировать, обсуждать и улучшать бизнес-процессы в организации [Simonova & Sykora, 2011]. Одним из ключевых факторов получения высококачественных моделей бизнес-процессов является активное участие в разработке модели всех заинтересованных сторон, что обеспечивает появление общего видения бизнес-процессов [Monsalve, April & Abran, 2011]. Графическими инструментами моделирования бизнес-процессов являются, к примеру, следующие [van der Aalst & van Hee, 2002; Scheer, 1999; Weske, 2012]: иерархическая диаграмма (нисходящая декомпозиция модели от более высоких уровней к более низким), диаграмма контекста процесса (переплетение всех значимых контекстов процесса) и карта процесса (событийно-управляемая диаграмма цепочки процессов; обзор действий, вызванных определёнными событиями) (рисунок 1).

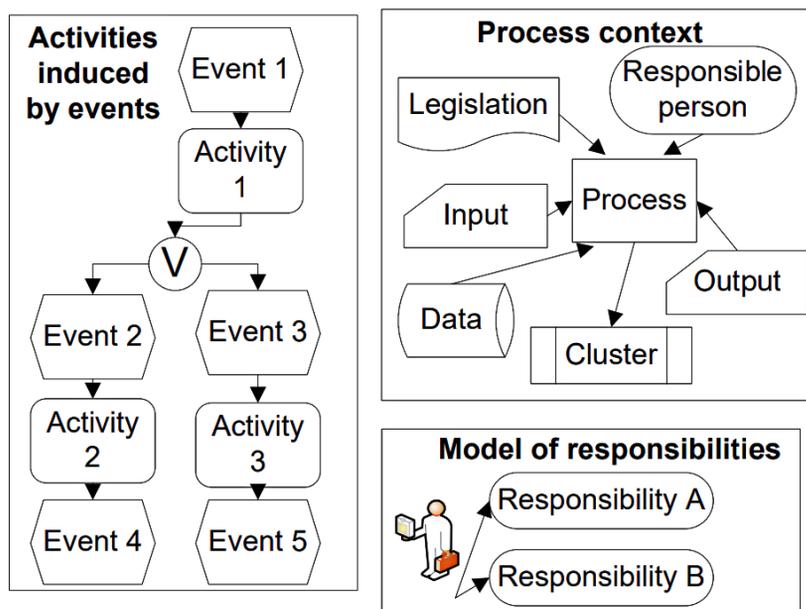


Рисунок 1 – Графические инструменты моделирования бизнес-процессов
 Figure 1 – Graphical tools of business process modeling

Примечание: Мы нашли здесь ошибку: стрелка «вложение» должна быть исходящей из процесса, а не входящей.
 Источник: Simonova & Sykora, 2011.

С методологической точки зрения необходимо различать моделирование бизнес-процессов (англ. business process modeling) от широко используемого концепта управления бизнес-процессами (англ. business process management) – с одинаковой аббревиатурой (англ. BPM⁵) (van der Aalst & van Hee, 2002; Marlon, La Rosa & Mendling, 2019; Rosemann & vom Brocke, 2010; Weske, 2012), а также от концептов диагностики процессов (англ. process diagnosing) (Verbeek, Basten & van der Aalst, 1999), разведки процессов (англ. process mining) (van der Aalst, 2016) и многих других. Моделирование бизнес-процессов (МБП) необходимо для тех организаций, которые стремятся оценивать, улучшать, автоматизировать и/или документировать свои бизнес-процессы, а также перемещать их на другую технологическую платформу (Bata, 2009; Khlif, Makni, Haddar & Ben-Abdallah, 2009). В свою очередь, управление бизнес-процессами (УБП) стало отдельной управленческой дисциплиной, которая выделяет шесть основных элементов УБП: стратегическое соответствие, руководство, методы, информационные технологии, люди и культура (Rosemann & vom Brocke, 2010). Книга «Разведка процессов: наука о данных в действии» (van der Aalst, 2016) преодолела разрыв между моделированием бизнес-процессов и бизнес-аналитикой, включив интеллектуальный анализ процессов в быстрорастущую дисциплину науки о данных. Другое исследование – «Диагностика поточных процессов с использованием Woflan» (Verbeek, Basten & van der Aalst, 1999) – определяет диагностику процессов как выявление и исправление ошибок в определениях поточных процессов⁶ с использованием инструмента Woflan. Эта технология управления поточным процессом предлагает гибкие решения для поддержки бизнес-процессов, облегчающие создание новых бизнес-процессов и изменение существующих. В современной терминологии компьютерной науки это можно было бы назвать тестированием бизнес-процессов (ТБП)⁷. В профессио-

нальной литературе встречаются и такие понятия, как разработка (англ. developing) бизнес-процессов, а также проектирование (англ. designing), исполнение (англ. executing), развёртывание (англ. deploying), отслеживание (англ. monitoring)⁸. Вопрос в том, каково концептуальное положение моделирования бизнес-процессов (МБП) среди всех этих видов деятельности, связанных с бизнес-процессами, т. е. что означает «разработать модель бизнес-процесса» в контексте более широкой концепции управления бизнес-процессами (УБП)?

Моделирование бизнес-процессов (МБП) является основой для управления бизнес-процессами (УБП) (Simonova & Sykora, 2011). Более того, мы можем интерпретировать разработку и проектирование бизнес-процессов как синонимы моделирования самого бизнес-процесса. Все остальные действия, такие как диагностика/тестирование процессов, разведка, исполнение, развёртывание, отслеживание, улучшение, можно рассматривать как последующие действия, реализуемые после моделирования процессов, т. е. их разработки и проектирования.

Оценка моделирования (разработки и проектирования) бизнес-процессов по отношению к каждому элементу управления бизнес-процессами (стратегическое соответствие, руководство, методы, информационные технологии, люди и культура – таблица 1) может быть эффективно осуществлена с помощью концептуальной модели зрелости (Lee, J., Lee, D. & Kang, 2007). Модель зрелости помогает оценить текущее состояние процесса и направления для улучшений, представляя структурированный подход к измерению различных аспектов процессов и их управления. Одной из самых известных является модель зрелости, адаптированная для управления бизнес-процессами, а именно – модель зрелости бизнес-процессов (МЗБП) (англ. Business Process Maturity Model, BPMM) (Bridges, 2024; Lee, J., Lee, D. & Kang, 2007).

⁵ В этой связи мы будем далее использовать аббревиатуру МБП (англ. BPMdI) для моделирования бизнес-процессов и УБП (англ. BPMng) – для управления бизнес-процессами.

⁶ Определения процессов – это подробные описания того, как структурированы и выполняются конкретные бизнес-процессы. Они [определения] предоставляют собой комплексный план для понимания и внедрения бизнес-процессов в организации (Weske, 2012).

⁷ ALM Help Center. (2024). Business Process Testing, [Online], URL: https://admhelp.microfocus.com/alm/en/24.1/online_help/Content/bpt.htm, [Accessed: 22.09.2024].

⁸ Red Hat Inc. (2024). Developing process services in Red Hat Process Automation Manager. Red Hat Documentation, [Online], URL: https://docs.redhat.com/en/documentation/red_hat_process_automation_manager/7.10/html/developing_process_services_in_red_hat_process_automation_manager/index, [Accessed: 22.09.2024].

Таблица 1 – Методология оценки моделирования (разработка и проектирование) бизнес-процессов (МБП) в контексте управления бизнес-процессами (УБП)

Table 1 – Methodology of evaluating business process modeling (BPMdl) (developing and designing) in the context of business process management (BPMng)

Уровни зрелости МБП*	Основные элементы управления бизнес-процессами (УБП)**					
	Стратегическое соответствие	Руководство	Методы	Информационные технологии	Люди	Культура
Уровни зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) и их оценки						
1 (начальный)	Нет соответствия между МБП и стратегией организации	Нет структуры, руководящей МБП	Специфические методы, используемые для МБП	Базовая ИТ-поддержка МБП или её отсутствие	Ограниченные знания и навыки в МБП	Нет устоявшейся культуры МБП
2 (управляемый)	Некоторые процессы соответствуют стратегии организации	Неформальные руководящие структуры	Задокументированные, но противоречивые методы	Специфические инструменты, используемые непоследовательно	Определены конкретные роли, но обучение происходит непоследовательно	Осознание важности МБП в определённых областях
3 (формализованный)	МБП соответствует стратегическим целям	Определены роли и ответственность для руководства МБП	Стандартизированные методы и инструменты МБП	Стандартизированные ИТ-инструменты и инфраструктура поддержки МБП	Стандартизированные программы обучения и практика обмена знаниями	Общеорганизационные культурные практики, поддерживающие МБП
4 (количественно управляемый)	Количественное подтверждение и показатели соответствия процессов стратегическим целям	Ориентированные на результаты руководящие структуры с чёткой подотчётностью	Регулярная оценка и улучшение методов МБП	Интегрированные ИТ-решения с показателями состояния МБП	Количественные показатели для оценки знаний и навыков персонала, участвующего в МБП	Количественные показатели для измерения вовлечённости и отношения к МБП
5 (оптимизирующий)	Постоянный анализ и корректировка процессов для поддержания их соответствия	Адаптивные методы руководства на основе обратной связи	Совершенствование методов на основе лучших практик и обратной связи	Непрерывные ИТ-инновации для поддержки и улучшения МБП	Постоянное совершенствование навыков и инновации в практике МБП	Культура постоянного совершенствования и инноваций в МБП

Примечание: * Шкала уровней зрелости для деятельности, связанной с процессами:

- 1 (начальный) – процессы неструктурированы и непредсказуемы, успех зависит от индивидуальных усилий и героизма;
- 2 (управляемый) – процессы определены и задокументированы, но могут оставаться нестандартизированными, практика повторяема;
- 3 (формализованный) – процессы стандартизированы, задокументированы и доведены до сведения всех сотрудников организации, существуют установленные стандарты и правила;
- 4 (количественно управляемый) – процессы измеряются и контролируются, основное внимание уделяется количественному управлению эффективностью;

5 (оптимизирующий) – непрерывное улучшение процессов обеспечивается обратной связью и инновационными идеями.

** Основные элементы управления бизнес-процессами (УБП):

Стратегическое соответствие – обеспечивает соответствие процессов организационной стратегии;

Руководство – создание структуры подотчётности и принятия решений;

Методы – инструменты и методики моделирования процессов;

Информационные технологии – ИТ-решения, поддерживающие функционирование процессов;

Люди – навыки и знания сотрудников, управляющих процессами;

Культура – коллективные ценности и убеждения, связанные с процессами.

Источник: разработано на основе Bridges, 2024; Lee, J., Lee, D. & Kang, 2007.

Объектом данного исследования являются самоуправление Латвии⁹ и их общественные отчёты, представляемые в Министерство смартуправления и регионального развития, как систематический результат бизнес-процесса мониторинга и планирования местного территориального развития¹⁰. В свою очередь, реальный процесс создания Общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края за 2023 год¹¹ станет эмпирической основой для изучения примера моделируемого бизнес-процесса мониторинга и планирования местного территориального развития. Будет разработана модель, представляющая мониторинг и планирование местного территориального развития в Аугшдаугавском крае (т. е. создание Общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края за 2023 год) как бизнес-процесс с использованием IDEFO и BPMN.

Статистический анализ данных опроса (май-июнь 2024 года) 43 самоуправлений Латвии будет проведён для проверки гипотезы о том, что моделирование бизнес-процессов для мониторинга и планирования

местного территориального развития (эмпирически – уровни зрелости моделирования бизнес-процессов по отношению к каждому элементу УБП (таблица 1)) повышает уровень этого развития. В рамках исследования «Расходы муниципальных бюджетов Латвии на транспортную инфраструктуру и производство в контексте улучшения местной экономики» (Komarova et al., 2024) местная экономика определяется как менее развитая, если в том или ином самоуправлении среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего, и как более развитая, если выше среднего. Эти две группы самоуправлений являются целевыми группами (результатирующими переменными) в статистическом анализе, а уровни зрелости МБП по отношению к каждому элементу УБП (стратегическое соответствие, руководство, методы, информационные технологии, люди и культура (таблица 1)) используются в качестве потенциальных детерминант (факторных переменных).

Для получения более стабильных результатов статистический анализ данных опроса (Приложение 1) был реализован с использованием трёх методов количественного анализа данных: сравнение средних значений – для проверки статистической значимости разницы в уровнях зрелости МБП между двумя группами самоуправлений Латвии, корреляционный и регрессионный анализ – для выявления взаимосвязей между уровнями зрелости МБП и уровнем экономического развития самоуправлений Латвии.

Сбор данных по всем самоуправлениям Латвии ($N = 43$, май-июнь 2024 года) проходил по методологии оценки моделирования (разработки и проектирования) бизнес-процессов (МБИ) в контексте управления бизнес-процессами (УБП) (таблица 1). Шкала уровней зрелости в рамках этой методологии была разослана административному персоналу самоуправлений Латвии, ответственному за создание годовых общественных отчётов или активно участвующему в этом процессе, и

⁹ Административное деление Латвии на территории самоуправлений (36 краёв и 7 городов государственного значения, не входящих в состав краёв) установлено с 1 июля 2021 года в соответствии с Законом Латвийской Республики «Об административных территориях и населённых пунктах». В выборку исследования, состоявшую из 43 объектов и совпадавшую с генеральной совокупностью, были включены все самоуправления Латвии – как края, так и города государственного значения. Такое относительно небольшое число объектов может анализироваться статистическими методами (Kish, 1965), но требует оценки статистической значимости получаемых результатов.

¹⁰ Viedās administrācijas un reģionālās attīstības ministrija [Latvija] [Ministry of Smart Administration and Regional Development (Latvia)]. (2024). Pašvaldību 2023. gada publiskie pārskati [Public Reports 2023 of Municipalities], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2023-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш. / in Latvian].

¹¹ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2024). 2023. gada publiskais pārskats [Public Report 2023], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2023-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш. / in Latvian].

дополнительно разъяснена в ходе интервью с участниками опроса. Затем они субъективно (на основе обзора существующей документации процессов, руководящих структур, программ обучения и ИТ-инструментов (Lee, J., Lee, D. & Kang, 2007)) оценили уровень зрелости МБП в своих самоуправлениях по отношению к каждому из основных элементов УБП (стратегическое соответствие, руководство, методы, информационные технологии, люди и культура) по шкале уровней зрелости от 1 (начальный) до 5 (оптимизирующий) (таблица 1).

Изучение реального процесса создания Общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края за 2023 год проведено в мае-июне 2024 года. Эмпирическое изучение проводилось по методологии исследования в действии (исследования действием) (Baskerville & Myers, 2004) с активным участием одного из соавторов данного исследования в процессе создания годового Общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края. Исследование в действии направлено на получение новых знаний, но в то же время и на создание ценности для организации-участника (в данном случае – самоуправления Аугшдаугавского края). Этот подход широко использовался при изучении информационных систем (Baskerville & Myers, 2004; Davison, Martinsons & Kock, 2004).

Результаты исследования и их обсуждение

Анализируемым эмпирическим результатом мониторинга и планирования местного территориального развития в латвийских самоуправлениях являются их годовые общественные отчёты – комплексные документы, которые предоставляют подробную информацию о деятельности самоуправления, финансовом, экономическом и социальном положении соответствующей территории, стратегических разработках и вовлечённости жителей в общественную и политическую жизнь самоуправления за прошедший год. Согласно Правилам № 413 «О годовых общественных отчётах», принятым Кабинетом министров Латвии в 2010 году¹², общая структура этих отчётов должна включать: введение, финансовое резюме, основные достижения, показатели эффективности, участие общественности, планы на будущее, соблюдение правил и управление, дополнительные

¹² Ministru kabinets (Latvija) [Cabinet of Ministers (Latvia)]. (2010). Noteikumi Nr. 413 "Par gada publiskajiem pārskatiem" [Rules for Annual Public Reports], [Online], URL: <https://likumi.lv/ta/id/209827-noteikumi-par-gada-publiskajiem-parskatiem>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

разделы.

На рисунке 2 показана общая модель бизнес-процесса создания годовых общественных отчётов в самоуправлениях Латвии.

Что касается самоуправления Аугшдаугавского края, то его Думой, состоящей из 15 депутатов, руководят председатель, 1-й заместитель председателя, два заместителя председателя. Деятельность Думы самоуправления организована в рамках пяти постоянно действующих рабочих комитетов: финансовый комитет, комитет по социальным вопросам и вопросам здравоохранения, экономический комитет, комитет по образованию, культуре и спорту, комитет по развитию (координирует создание годовых общественных отчётов) (9 членов). В свою очередь, администрация самоуправления Аугшдаугавского края состоит из исполнительного директора (руководителя упомянутого в методологическом разделе статьи стажировочного проекта), его 1-го заместителя (она подписывает годовые общественные отчёты самоуправления)¹³ и технического директора¹⁴. Документально оформленной иерархии этой управленческой структуры не существует, однако имеется задокументированная территориальная структура Аугшдаугавского края, который состоит из 10 волостей, в том числе 2 городов и 25 сельских общин¹⁵.

Процесс создания годовых общественных отчётов самоуправления Аугшдаугавского края не смоделирован, не описан и не задокументирован ни в Уставе самоуправления Аугшдаугавского края¹⁶, ни в Регламен-

¹³ Augšdaugavas novada pašvaldība (Latvija) [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2023a). 2022. gada publiskais pārskats [Public Report 2022], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2022-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian]; Augšdaugavas novada pašvaldība (Latvija) [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2024). 2023. gada publiskais pārskats [Public Report 2023], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2023-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

¹⁴ Augšdaugavas novada pašvaldība (Latvija) [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2023b). Augšdaugavas novada pašvaldības nolikums. Augšdaugavas novada pašvaldības domes saistošie noteikumi Nr. 76 [Regulations No. 76 "By-laws of Augshdaugava County Municipality"], Latvijas Vēstnesis – Bulletin of Latvia, [Online], URL: <https://likumi.lv/ta/id/341771-augshdaugavas-novada-pasvaldibas-nolikums>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

¹⁵ Там же.

¹⁶ Там же.



Рисунок 2 – Общая схема создания ежегодных общественных отчётов самоуправлений Латвии: диаграмма в IDEFO

Figure 2 – Common IDEFO diagram of the creation of annual public reports in Latvian municipalities

Источник: разработано с использованием IDEFO.

те работы самоуправления Аугшдаугавского края¹⁷. Тем не менее, этот процесс ежегодно организуется, в результате чего принимается годовой общественный отчёт

¹⁷ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2023c). Augšdaugavas novada pašvaldības darba reglaments [Work Regulations of Augshdaugava County Municipality], [Online], URL: https://augshdaugavasnovads.lv/wp-content/uploads/publiskie_dokumenti/2023/61_27_04_2023/reg5.pdf, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

(например, 29 мая в 2023 году¹⁸ и 27 июня в 2024 году¹⁹) и представляется в Министерство самоуправления и регионального развития. В самоуправлении Аугшдау-

¹⁸ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2023a). 2022. gada publiskais pārskats [Public Report 2022], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2022-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

¹⁹ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augshdaugava County (Latvia)]. (2024). 2023. gada publiskais pārskats [Public Report 2023], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/lv/pasvaldibu-2023-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

гавского края этот процесс курируется 1-м заместителем исполнительного директора, координируется Комитетом по развитию, но все остальные комитеты предоставляют территориальные аналитические данные (ТАД) в рамках своей компетенции. Иногда этот процесс затягивается из-за непредставленных данных, и тогда очень интенсивная работа Комитета по развитию остаётся на последние дни (или даже ночи) перед принятием и подачей годового общественного отчёта, поэтому моделирование процесса создания годовых общественных отчётов в самоуправлении Аугшдаугавского края (как и во многих других латвийских самоуправлениях) необходимо для более эффективного мониторинга и планирования местного территориального развития.

Таким образом, существует большой разрыв между ситуацией «как есть» и ситуацией «как должно быть» (Weske, 2012) при моделировании процесса создания годовых общественных отчётов в самоуправлении Аугшдаугавского края, который может быть уменьшен путём внедрения принципов МБП в реальную практику самоуправления. В таблице 2 представлено описание последовательных шагов процесса (с временной шкалой, которая начинается после 31 марта – крайнего срока подачи финансово-бюджетных отчётов самоуправлений Латвии в Государственную кассу) создания годовых общественных отчётов в самоуправлении Аугшдаугавского края с учётом аспектов бизнес-процесса, акцентированных в методологии функционального моделирования IDEFO (рисунок 2): деятельность, вложения, механизмы, контролируемые элементы, результаты (согласно логике IDEFO, результат предыдущего подпроцесса является вложением для следующего). Процесс создания годового общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края начинается с анализа общественного отчёта за предыдущий год (таблица 3), и каждый следующий отчёт демонстрирует некоторую эволюцию. Например, Общественный отчёт самоуправления Аугшдаугавского края за 2022 год не имел оглавления и заканчивался следующим ничем не обоснованным вердиктом: «Самоуправление выражает надежду, что в Аугшдаугавского края будет рождаться много детей, будут создаваться крепкие семьи, а пожилые люди будут жить долго и прекрасно»²⁰. В свою очередь, Общественный

²⁰ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augšdaugava County (Latvia)]. (2023a). 2022. gada publiskais pārskats [Public Report 2022], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/pasvaldibu-2022-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

отчёт самоуправления Аугшдаугавского края за 2023 год лучше структурирован (по крайней мере, имеет чёткое оглавление) и более аналитичен, без необоснованных надежд²¹.

На рисунке 3 показана часть модели бизнес-процесса создания годового общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края (в частности, сбор и визуализация данных – деятельность, реализуемая параллельно).

Как уже упоминалось выше, существует большой разрыв между ситуацией «как есть» и ситуацией «как должно быть», и процесс создания годового общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края не моделируется, а реализуется в соответствии с более или менее интуитивной практикой. При этом успех часто зависит от индивидуальных, порой почти героических, усилий, а не от системных процессов. Ситуация с моделированием бизнес-процессов во всех самоуправлениях Латвии (с учётом их деления на менее развитые (включая Аугшдаугавский край) и более развитые) была исследована с помощью статистического анализа данных опроса, представленных в Приложении 1.

Средние значения уровней зрелости МБП по отношению к основным элементам УБП и результаты их сравнения между группами самоуправлений Латвии с различным уровнем экономического развития представлены в таблице 3.

Средние значения уровней зрелости МБП по отношению к основным элементам УБП, представленные в таблице 4, демонстрируют умеренный общий уровень зрелости МБП в самоуправлениях Латвии (от 1,91 балла по методам до 3,86 балла по стратегическому соответствию). Однако самоуправления с более развитой экономикой имеют значительно более высокие баллы МБП по отношению к четырём элементам УБП: руководство, методы, люди и культура. В свою очередь, соответствие бизнес-процессов организационной стратегии (стратегическое соответствие) и ИТ-решения, поддерживающие бизнес-процессы (информационные технологии) имеют в среднем, соответственно, количественно управляемый (4-ый) и формализованный (3-ий) уровни зрелости в обеих группах самоуправлений Латвии. Это означает, что декларативно в стратегиях и с точки зре

²¹ Augšdaugavas novada pašvaldība [Latvija] [Municipal Council of Augšdaugava County (Latvia)]. (2024). 2023. gada publiskais pārskats [Public Report 2023], [Online], URL: <https://www.varam.gov.lv/pasvaldibu-2023-gada-publiskie-parskati>, [Accessed: 22.09.2024], [латыш./in Latvian].

Таблица 2 – Создание годового общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края на основе диаграмм в нотации IDEFO

Table 2 – The creation of annual public report of Augshdaugava County Municipality based on IDEFO diagram

Деятельность (activity)	Вложение (input)	Механизм (mechanism)	Контролирующий элемент (control)	Результат (output)
Анализ общественного отчёта за предыдущий год (первая неделя апреля)	Текст общественного отчёта за предыдущий год	Члены Комитета по развитию	Дума самоуправления, включая все её комитеты	Рекомендации по сбору данных из различных внешних и внутренних источников и составлению подотчётов
Сбор и визуализация данных (последующие недели апреля)	Рекомендации по сбору данных из различных внешних и внутренних источников и составлению подотчётов	Персонал структурной единицы, управляемой Комитетом по развитию	Статья 13 ²² Правил КМ № 413 «О годовых общественных отчётах»	Набор собранных и визуализированных данных
Презентация собранных и визуализированных данных (последние дни апреля)	Набор собранных и визуализированных данных	Члены Комитета по развитию	Дума самоуправления, включая все её комитеты	Принятый набор данных, подготовленных к дальнейшему анализу
Анализ и описание данных (первая половина мая)	Принятый набор данных, подготовленных к дальнейшему анализу	Персонал структурных единиц, управляемых соответствующими комитетами Думы самоуправления	Статья 12 ²³ Правил КМ № 413 «О годовых общественных отчётах»	Пять подотчётов, соответствующих сферам компетенции комитетов
Разработка проекта окончательной версии годового общественного отчёта (вторая половина мая)	Пять подотчётов, соответствующих сферам компетенции комитетов	Персонал структурной единицы, управляемой Комитетом по развитию	Дума самоуправления, включая все её комитеты	Проект окончательной версии годового общественного отчёта с комментариями от Думы самоуправления
Составление окончательной версии годового общественного отчёта (первая половина июня)	Проект окончательной версии годового общественного отчёта с комментариями от Думы самоуправления	Персонал структурной единицы, управляемой Комитетом по развитию	1-й заместитель исполнительного директора Думы самоуправления	Окончательная версия годового общественного отчёта
Презентация годового общественного отчёта (середина июня)	Окончательная версия годового общественного отчёта	Члены Комитета по развитию	Дума самоуправления, включая все её комитеты	Принятый годовой общественный отчёт, готовый для подачи в Министерство самоуправления и регионального развития

Источник: разработано на основе рисунка 2 и результатов исследования в действии.

²² Статья 13: Информация, включаемая в отчёт, готовится на основе измеримых, надёжных (проверенных) и анализируемых показателей. Показатели включаются в текст отчёта и используются для обоснования утверждений, описывающих объём, результат, эффективность или воздействие проделанной работы.

²³ Статья 12: Отчёт самоуправления содержит информацию о деятельности соответствующего самоуправления в отчётном году, а также результаты выполнения показателей инвестиционных проектов, включённых в плановые документы самоуправления. Отчёт самоуправления содержит следующую информацию...

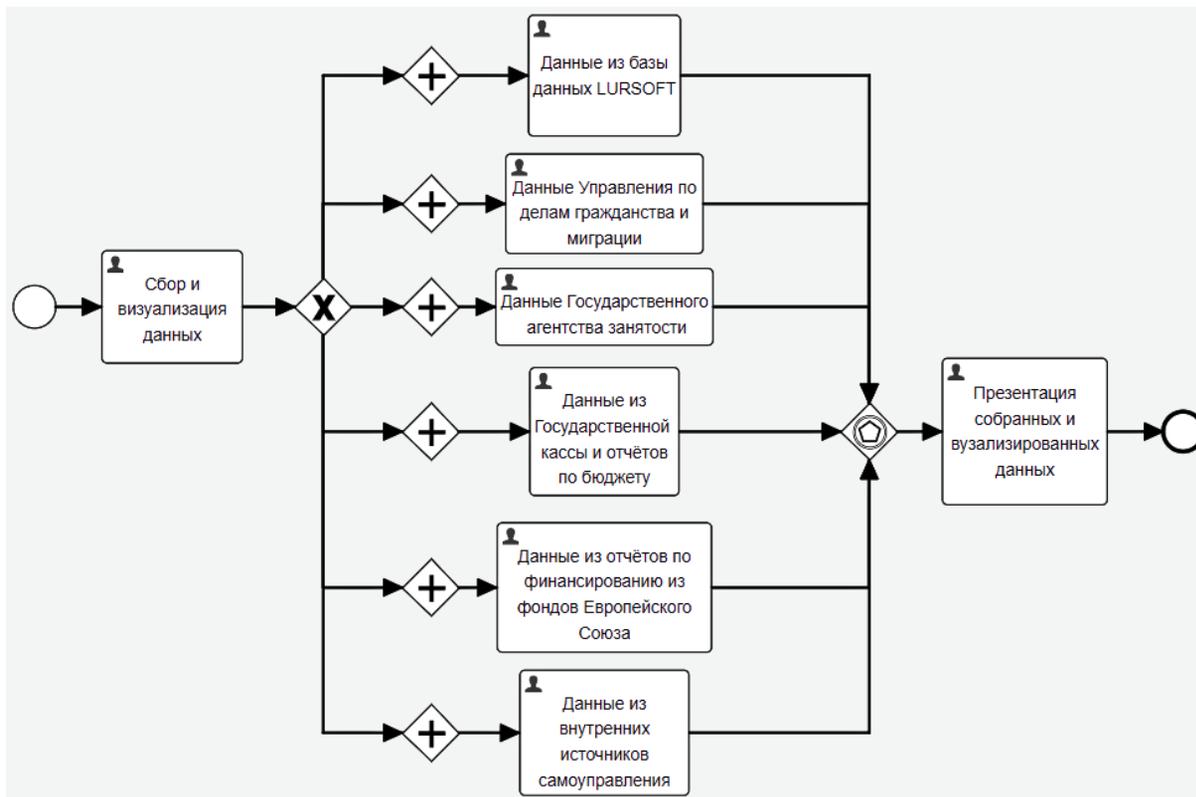


Рисунок 2 – Подпроцесс создания годового общественного отчёта самоуправления Аугшдаугавского края: диаграмма в нотации BPMN

Figure 3 – The subprocess of the creation of the annual public report in Augshdaugava County Municipality: BPMN diagram

Источник: разработано с использованием BPMN.

ния ИТ-инфраструктуры МБП одинаково развит в самоуправлениях Латвии с разным уровнем экономического развития, тогда как руководство МБП, методы МБП, навыки и знания людей, а также связанная с процессами культура организации демонстрируют статистически значимые различия между самоуправлениями с менее развитой экономикой и самоуправлениями с более развитой экономикой.

Результаты корреляционного анализа, представленные в Таблице 5, показывают, что существуют некоторые статистически значимые и сильные взаимосвязи между уровнями зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) и уровнем экономического развития самоуправлений Латвии. Например, самые сильные корреляции

наблюдаются между связанной с процессами организационной культурой и уровнем экономического развития самоуправлений Латвии ($r = 0,793, p < 0,001$), а также между методами МБП и уровнем экономического развития самоуправлений Латвии ($r = 0,670, p < 0,001$). Однако корреляционный анализ не позволяет определить направление этих связей, т. е. являются ли уровни зрелости МБП детерминантами местного экономического развития, а не наоборот. Чтобы выяснить это, мы провели регрессионный анализ, в котором результирующей переменной был количественный показатель местного экономического развития (среднегодовой подоходный налог на душу населения), а факторными переменными – уровни зрелости МБП по отношению к основным

Таблица 3 – Средние значения уровней зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) по отношению к основным элементам управления бизнес-процессами (УБП), самоуправления Латвии, шкала от 1 до 5,* 2024 год

Table 3 – Means of business process modeling (BPMdl) maturity levels in relation to the core elements of business process management (BPMng) in Latvian municipalities, scale from 1 to 5,* 2024

Уровни зрелости МБП по отношению к основным элементам УБП**	Все самоуправления Латвии, N = 43***	Самоуправления Латвии с менее развитой экономикой, n = 26****	Самоуправления Латвии с более развитой экономикой, n = 17	Статистическая значимость различий, p*****
Стратегическое соответствие	3,86	3,77	4,00	0,289 (статистически незначимая разница)
Руководство	3,05	2,85	3,35	0,041 (статистически значимая разница)
Методы	1,91	1,42	2,65	<0,001 (статистически значимая разница)
Информационные технологии	3,33	3,23	3,47	0,207 (статистически незначимая разница)
Люди	2,23	1,69	3,06	<0,001 (статистически значимая разница)
Культура	2,07	1,35	3,18	<0,001 (статистически значимая разница)

Примечание: * Шкала уровней зрелости для деятельности, связанной с процессами:

1 (начальный) – процессы неструктурированы и непредсказуемы, успех зависит от индивидуальных усилий и героизма;

2 (управляемый) – процессы определены и задокументированы, но могут оставаться нестандартизированными, практика повторяема;

3 (формализованный) – процессы стандартизованы, задокументированы и доведены до сведения всех сотрудников организации, существуют установленные стандарты и правила;

4 (количественно управляемый) – процессы измеряются и контролируются, основное внимание уделяется количественному управлению эффективностью;

5 (оптимизирующий) – непрерывное улучшение процессов обеспечивается обратной связью и инновационными идеями.

** Стратегическое соответствие – обеспечивает соответствие процессов организационной стратегии;

Руководство – создание структуры подотчётности и принятия решений;

Методы – инструменты и методики моделирования процессов;

Информационные технологии – ИТ-решения, поддерживающие функционирование процессов;

Люди – навыки и знания сотрудников, управляющих процессами;

Культура – коллективные ценности и убеждения, связанные с процессами.

*** Оценки были предоставлены административным персоналом самоуправлений Латвии, ответственным за создание годовых общественных отчётов или активно участвующим в этом процессе.

**** Самоуправление с менее развитой экономикой имеет среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего по Латвии; самоуправление с более развитой экономикой – выше среднего (Komarova et al., 2024).

***** Для определения статистической значимости различий в уровнях зрелости МБП по отношению к основным элементам УБП средние значения переменных в независимых выборках сравнивались с t-критерием равенства средних (двусторонняя значимость).

Источник: рассчитано с использованием IBM SPSS Statistics и данных опроса из Приложения 1.

Таблица 4 – Корреляция между уровнями зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) и уровнем экономического развития самоуправлений Латвии, N = 43, коэффициент Кендалла, * 2024 год

Table 4 – Correlation between business process modeling (BPMdl) maturity levels and the level of local economic development in Latvian municipalities, N = 43, Kendall coefficient, * 2024

Уровни зрелости МБП по отношению к основным элементам УБП	Уровень экономического развития самоуправлений Латвии	Статистическая значимость корреляции, <i>p</i>
Стратегическое соответствие	0,158	0,283 (статистически незначимая корреляция)
Руководство	0,319 (корреляция значима с вероятностью 95 %)	0,028 (статистически значимая корреляция)
Методы	0,670 (корреляция значима с вероятностью 99 %)	<0,001 (статистически значимая корреляция)
Информационные технологии	0,152	0,307 (статистически незначимая корреляция)
Люди	0,560 (корреляция значима с вероятностью 99 %)	<0,001 (статистически значимая корреляция)
Культура	0,793 (корреляция значима с вероятностью 99 %)	<0,001 (статистически значимая корреляция)

Примечание: * Коэффициент Кендалла для расчёта корреляции выбран из-за дихотомической переменной уровня экономического развития самоуправлений Латвии (Sweet & Grace-Martin, 2012).

Источник: рассчитано с использованием IBM SPSS Statistics и данных опроса из Приложения 1.

элементам УБП. Используя пошаговый метод включения переменных, было получено следующее уравнение линейной регрессии:

$$y = 316,52 + 113,63x_2 + 112,64x_6, \quad (1)$$

где: *y* – среднегодовой подоходный налог на душу населения, евро; *x*₂ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «руководство», 1–5; *x*₆ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «культура», 1–5.

Исключённые переменные:

*x*₁ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «стратегическое соответствие», 1–5;

*x*₃ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «методы», 1–5;

*x*₄ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «информационные технологии», 1–5;

*x*₅ – уровень зрелости МБП по отношению к элементу УБП «люди», 1–5.

Источник: рассчитано с использованием компьютерной программы IBM SPSS Statistics и данных опроса из Приложения 1.

Результаты регрессионного анализа показали, что уровни зрелости МБП (особенно в отношении его методов и культуры) являются детерминантами экономического развития самоуправлений Латвии. В частности, каждый достигнутый уровень зрелости МБП по отношению к его методам увеличивает среднегодовой подоходный налог на душу населения на 113,63 евро, а каждый достигнутый уровень зрелости МБП по отношению к связанной с процессами культуре – на 112,64 евро. Все остальные коррелирующие факторы развития МБП (руководство и люди – таблица 4) не являются детерминантами экономического развития самоуправлений Латвии, а, скорее, сами детерминируются им.

Географически группа самоуправлений Латвии с более развитой экономикой и более зрелым МБП сконцентрирована вокруг столицы Латвии, а также вблизи границы с Эстонией (Эстония является наиболее экономически развитой среди соседних с Латвией стран) (рисунок 4).

Выводы

В рамках данного исследования изучались возможности применения моделирования бизнес-процессов

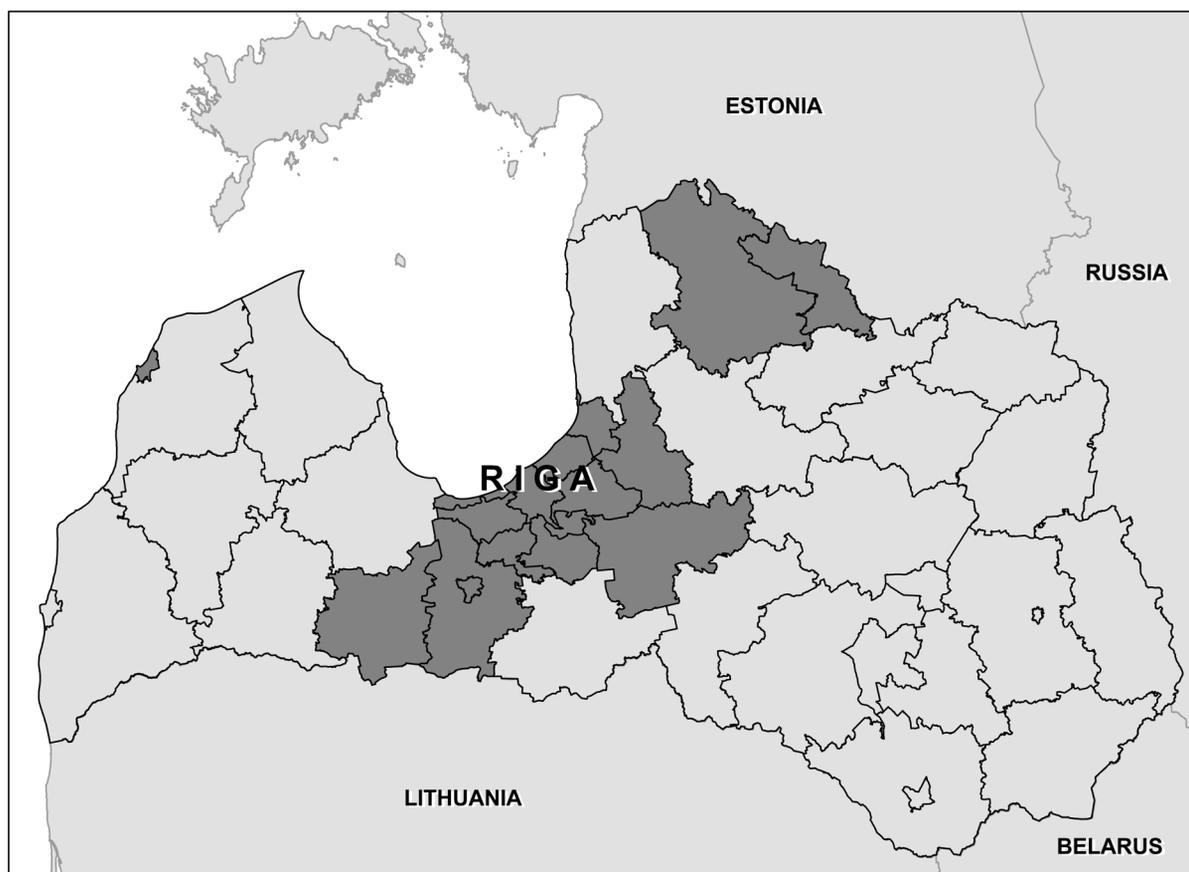


Рисунок 4 – Географическая концентрация группы самоуправлений Латвии с более развитой экономикой, $n = 17$, 2023 год

Figure 4 – Geographical concentration of the group of Latvian municipalities with a more developed economy, $n = 17$, 2023

Источник: создано с использованием ArcGIS на основе данных из Приложения 1.

(МБП) к мониторингу и планированию местного территориального развития на примере самоуправлений Латвии. Основные выводы, которые можно сделать по результатам исследования, состоят в следующем:

1) МБП может эффективно применяться для улучшения территориального развития самоуправлений Латвии. Этот подход обеспечивает систематический сбор данных, их подробный анализ, стратегическое планирование, эффективную реализацию и непрерывный мониторинг, что приводит к более обоснованному принятию решений и оптимизированным результатам развития. Используя МБП, самоуправления Латвии могут

значительно повысить свою эффективность и результативность в мониторинге и планировании местного территориального развития;

2) статистический анализ (сравнение средних значений, корреляционный и регрессионный анализ, дискриминантный анализ) данных опроса вовлечённого в мониторинг и планирование местного территориального развития административного персонала всех 43 самоуправлений Латвии выявил статистически значимые различия в уровнях зрелости МБП между самоуправлениями с менее развитой экономикой и самоуправлениями с более развитой экономикой. Самоуправления Лат-

вии с менее развитой экономикой продемонстрировали более низкие уровни зрелости МБП по отношению к таким основным элементам управления бизнес-процессами (УБП), как управление, методы, люди и культура. В свою очередь, по отношению к стратегическому соответствию и информационным технологиям уровни зрелости МБП в самоуправлениях Латвии с разным уровнем экономического развития не отличаются (статистически значимо);

3) существенным выявленным препятствием для развитие МБП в самоуправлениях Латвии стал недостаток специалистов в области МБП. В самоуправлениях Латвии бизнес-процессы в основном интуитивны, неструктурированы и непредсказуемы, и успех часто зависит от индивидуальных усилий сотрудников, а не от смоделированных и систематизированных процессов. Для улучшения практики МБП самоуправлениям следует инвестировать в обучение и развитие специалистов в соответствующей области, стандартизировать и документировать процессы и использовать интегрированные ИТ-решения для МБП. Постоянное усовершенствование бизнес-процессов должно осуществляться посредством обратной связи и инновационных практик;

4) гипотеза исследования о том, что МБП для мониторинга и планирования местного территориального развития возможно, и оно повышает уровень этого развития, но мало используется в самоуправлениях Латвии, была подтверждена с помощью анализа результатов научных исследований о применении МБП в мониторинге и планировании местного территориального развития, а также с помощью статистического анализа данных опроса самоуправлений Латвии и изучения случая (по методологии исследования в действии) самоуправления Аугшдаугавского края, представляющего группу самоуправлений Латвии с менее развитой экономикой;

5) впервые в Латвии была предпринята попытка смоделировать бизнес-процесс создания годовых общественных отчетов в самоуправлениях Латвии с использованием IDEF0 и BPMN. Эта попытка моделирования показала, что мониторинг и планирование местного территориального развития являются моделируемым бизнес-процессом. В рамках дальнейших исследований в этой области рекомендуется изучать долгосрочное влияние МБП на местное территориальное развитие и совершенствовать методологию изучения этого влияния.

Приложение 1

Данные опроса об уровне зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) по отношению к каждому элементу управления бизнес-процессами (УБП), самоуправления Латвии, N = 43,* 2024 год

Самоуправления Латвии	Основные элементы управления бизнес-процессами (УБП)						Средне-годовой подходящий налог на душу населения, евро, 2023 год	Уровень экономического развития**
	Стратегическое соответствие	Руководство	Методы	Информационные технологии	Люди	Культура		
Адажский край	4	2	3	4	3	3	1248,18	2
Айзкраукленский край	4	3	2	3	2	1	707,41	1
Алуксненский край	3	3	1	3	1	2	594,00	1
Аугшдавский край	4	2	1	4	2	2	457,23	1
Балвский край	4	3	1	3	1	1	526,55	1
Бауский край	4	3	2	3	1	1	704,75	1
Валкский край	4	3	1	4	4	3	818,88	2
Валмиерский край	4	3	3	4	2	2	822,96	2

Вараклянский край	3	3	1	2	1	1	489,52	1
Вентспилс	3	4	3	4	3	4	907,74	2
Вентспилсский край	3	3	2	2	2	1	674,94	1
Даугавпилс	5	4	1	4	2	2	575,53	1
Диенвидкурземский край	3	3	1	3	2	1	633,14	1
Добелский край	3	2	2	4	4	3	794,48	2
Екабпилсский край	4	2	1	3	1	1	615,12	1
Елгава	5	4	2	3	4	3	870,13	2
Елгавский край	4	3	2	3	3	3	797,35	2
Гулбенский край	4	3	1	3	2	3	651,75	1
Кекавский край	3	3	3	3	1	4	1161,31	2
Краславский край	4	2	2	4	3	1	426,00	1
Кулдигский край	4	3	2	4	3	1	632,19	1
Ливанский край	4	2	1	3	1	1	547,19	1
Лиепая	5	3	1	4	2	1	724,85	1
Лимбажский край	4	5	1	3	1	2	677,47	1
Лудзенский край	3	3	1	4	2	2	478,84	1
Мадонский край	4	3	2	3	1	1	629,77	1
Марупский край	4	4	2	4	1	3	1384,93	2
Огрский край	5	3	3	3	3	3	940,14	2
Олайнский край	4	3	3	3	4	3	923,84	2
Прейльский край	4	2	1	4	4	1	516,07	1
Резекне	5	4	2	4	2	2	636,60	1
Резекненский край	3	3	2	3	1	1	451,93	1
Рига	5	5	4	4	3	4	1159,68	2
Ропажский край	4	4	3	3	3	4	1167,05	2
Саласпилсский край	4	4	3	4	4	3	962,38	2
Салдусский край	3	2	2	2	1	1	693,59	1
Саулкрастский край	3	3	2	3	3	3	986,02	2
Сигулдский край	4	3	3	3	3	3	973,87	2
Смилтенский край	3	2	1	2	2	1	676,77	1
Талсинский край	4	3	2	4	1	2	636,25	1
Тукумский край	4	3	1	3	2	1	719,24	1
Цесисский край	3	2	2	4	1	1	758,44	1
Юрмала	5	4	3	3	4	3	1198,65	2

Примечание: * Оценки были предоставлены административным персоналом, ответственным за создание годовых общественных отчетов самоуправлений Латвии или активно участвующим в этом процессе.

** 1 – самоуправления с менее развитой экономикой (среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего);
2 – самоуправления с более развитой экономикой (среднегодовой подоходный налог на душу населения выше среднего).

Источник: собственные данные опроса (май-июнь 2024 года), а также показатели, рассчитанные на основе методологии (Komaņova et al., 2024) и данных Государственной кассы Латвии²⁴; методика оценки уровня зрелости моделирования бизнес-процессов (МБП) представлена в таблице 2.

²⁴ Valsts kase [Latvija] [State Treasury (Latvia)]. (2024). Pamatbudžeta izpildes pārskati (2PB_Pasv). Pašvaldību mēneša un gada pārskati [Basic Budget Implementation Reports (2PB_Pasv). Monthly and Annual Reports of Municipalities], [Online], URL: <https://www.kase.gov.lv/parskati/pasvaldibu-menesa-un-gada-parskati>, [Accessed: 22.09.2024]. [латыш./in Latvian].

REFERENCES

- van der Aalst, W. (2016). *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, DE.
- van der Aalst, W. and van Hee, K. (2002). *Workflow Management: Models, Methods, and Systems*. Cambridge: MIT Press, US.
- Baskerville, R. and Myers, M. (2004). Special issue on action research in information systems: Making IS research relevant to practice – foreword. *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 3, pp. 329–335.
- Bata, R. (2009). *Information Flows Modelling*. Koln: Lambert Academic Publishing, DE.
- Bridges, M. (2024). Business Process Maturity Model (BPMM) explained, [Online], Flevy Blog. Available at: <https://flevy.com/blog/business-process-maturity-model-bpmm-explained/> [Accessed: 22.09.2024].
- Bruni, R., Butler, M., Ferreira, C., Hoare, T., Melgratti, H. and Montanari, U. (2005). Comparing two approaches to compensable flow composition. *16th International Conference, CONCUR 2005, San Francisco, CA, USA, August 23-26, 2005*, pp. 383–397. https://doi.org/10.1007/11539452_30.
- Bruni, R., Melgratti, H. and Montanari, U. (2005). Theoretical foundations for compensations in flow composition languages. *ACM SIGPLAN Notices*, vol. 40, no. 1, pp. 209–220.
- Bures, P. (2004). *Public Administration in the Czech Republic*. Prague, Ministry of the Interior of the CR.
- Davison, R., Martinsons, M. and Kock, N. (2004). Principles of canonical action research. *Information Systems Journal*, vol. 14, no. 1, pp. 65–86.
- Garcia-Dominguez, A., Marcos, M. and Medina, I. (2012). A comparison of BPMN with other notations for manufacturing processes. *4th Manufacturing Engineering Society International Conference (MESIC 2011) Proceedings*, pp. 593–600.
- Gemma, S. and Vitoliņa, Z. (2018). Smart territorial development in Latvia: the case of Zemgale planning region. *Socialiniai tyrimai – Social Research*, vol. 41 no. 2, pp. 134–142.
- Kalian, A., Watson, A., Agbasi, E., Anumba, Ch. and Gibb, A. (2004). Modelling the building cladding attainment proceses. *Business Process Management Journal*, vol. 10, pp. 712–723.
- Khelif, W., Makni, L., Haddar, N. and Ben-Abdallah, H. (2009). “Quality metrics for business process modeling”, [Online], Available at: https://www.researchgate.net/publication/228943162_Quality_metrics_for_business_process_modeling, [Accessed: 22.09.2024].
- Kish, L. (1965). *Survey Sampling*. New York: John Wiley and Sons, US.
- Komaņova, V., Ignatjeva, S., Kudins, J., Kokarevica, A., Ostrovska, I. and Čižo, E. (2024). Latvian municipal budgets expenditures on transport infrastructure and production in the context of improving the local economy. *Journal of Eastern European and Central Asian Research*, vol. 11, no.4, pp. 736–753.
- Lagzdiņa, E. (2023). “Municipal Environmental Governance Development Preconditions”, [Online], Available at: https://dSPACE.lv/dSPACE/bitstream/handle/7/65113/298-98253-Lagzdina_Erika_ViPeM95035.pdf, [Accessed: 22.09.2024].
- Lee, J., Lee, D. and Kang, S. (2007). An overview of the Business Process Maturity Model (BPMM), Chang, K. (Ed.), *APWeb WAIM 2007: Advances in Web and Network Technologies, and Information Management*, vol. 4537, pp. 384–395.

- Maksin, M. (2014). Planning system for sustainable territorial development in Serbia. *International Journal of Environment and Sustainable Development*, vol. 13, no. 3, pp. 296–315.
- Marks-Bielska, R. and Kurowska, K. (2017) Institutional efficiency of communes in Poland in respect of space management. *Proceedings of the 17th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2017*, vol. 53, pp. 521–528.
- Marks-Bielska, R., Wojarska, M., Lizinska, W. and Babuchowska, K. (2020). Local economic development in the context of the institutional efficiency of local governments. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, vol. 3, pp. 323–333.
- Marlon, La Rosa, M. and Mendling, J. (2019). *Fundamentals of Business Process Management*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, DE.
- Mickevičius, M., Valčiukienė, J. and Juknelienė, D. (2022). "The Impact of the Efficiency of Administration of Territorial Planning Processes on the Development of Territories: Case Study of Pagegiai Municipality, Lithuania", [Online], Available at: https://lufb.ltu.lv/Raksti/Journal_Baltic_Surveying/2022/Journal_Baltic_Surveying_Vol_16_2022-29-40.pdf, (Accessed: 22.09.2024). <https://doi.org/10.22616/j.balticsurveying.2022.16.004>.
- Monsalve, C., April, A. and Abran, A. (2011). Requirements elicitation using BPM notations: focusing on the strategic level representation. *Proceedings of the 11th WSEAS International Conference on Applied Computer and Applied Computational Science*, Venuce, WSEAS Press, pp. 235–241.
- Ng, C. (2024). *Why wait for sequential processing when parallel is faster?*, [Online], Starburst. Available at: <https://www.starburst.io/blog/parallel-vs-sequential-processing/>, (Accessed: 22.09.2024).
- Nipers, A., Pilvere, I. and Bulderberga, Z. (2017). Territorial development assessment in Latvia. *Research for Rural Development 2017*, vol. 2, pp. 126–134.
- Polak, J., Merunka, V. and Carda, A. (2003). *The Art of System Design*. Prague: Grada, Czech Republic.
- Rosemann, M. and vom Brocke, J. (2010). "The six core elements of business process management", [Online], Available at: https://www.researchgate.net/publication/226852950_The_Six_Core_Elements_of_Business_Process_Management, (Accessed: 22.09.2024).
- Scheer, A. (1999). *ARIS – from Business Process to Application Systems*. Brno: COMSOFT, Czech Republic.
- Simonova, S. and Sykora, D. (2011). "Process modeling for regional territorial planning", [Online], Available at: https://www.researchgate.net/publication/228415260_Process_modeling_for_regional_territorial_planning, (Accessed: 22.09.2024).
- Sweet, S. and Grace-Martin, K. (2012). *Data Analysis with SPSS: A First Course in Applied Statistics*, 4th ed. London: Pearson, UK.
- Verbeek, H., Basten, T. and van der Aalst, W. (1999). "Diagnosing workflow processes using Woflan", [Online], Available at: https://www.researchgate.net/publication/2575834_Diagnosing_Workflow_Processes_Using_Woflan#fullTextFileContent, (Accessed: 22.09.2024).
- Weske, M. (2012). *Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, DE.

Информация об авторах

Information about the authors

Комарова Вера

Доктор экономики, магистрантка программы «Наука о данных и бизнес-информатика», Отделение компьютерных наук, Пизанский университет (Италия), ведущий исследователь, Институт гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика.
E-mail: vera.komarova@du.lv

Vera Komarova

Dr.oec., Master Student of the Study Programm "Data Science and Business Informatics", Department of Computer Science, University of Pisa (Italy), Leading Researcher at the Institute of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University, Republic of Latvia.
E-mail: vera.komarova@du.lv

Чижо Эдмунд

Доктор наук в экономике и предпринимательстве, доцент кафедры права, управленческих наук и экономики, факультет гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика.

E-mail: edmunds.cizo@du.lv

Бороненко Тимур

Бакалавр инженерных наук в информационных технологиях, магистрант программы «Цифровые гуманитарные науки», факультет компьютерных наук, информационных технологий и энергетики, Рижский технический университет, Латвийская Республика.

E-mail: b.timurs.b@gmail.com

Edmunds Cizo

Science Doctor (Ph.D.) in Economics and Business, Assistant Professor at the Department of Law, Management Science and Economics, Faculty of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University, Republic of Latvia.

E-mail: edmunds.cizo@du.lv

Timurs Boronenko

Bachelor of Engineering in Information Technology, Master Student at the Study Programm "Digital Humanities", Faculty of Computer Science, Information Technology and Energy, Riga Technical University, Republic of Latvia.

E-mail: b.timurs.b@gmail.com

Использование больших данных о рынке труда в кадровых бизнес-процессах организаций Республики Беларусь

Е. В. Ванкевич, *Витебский государственный технологический университет,*
И. Н. Калиновская *Республика Беларусь*

Аннотация. Возрастание объемов информации о рынке труда в условиях цифровизации экономики, с одной стороны, и увеличивающиеся транзакционные издержки, связанные с поиском, наймом и увольнением работников в связи с несоответствием их навыков требованиям нанимателей, с другой, объективно обуславливают необходимость разработки инструментов оперативного сбора, обработки и анализа информации, содержащейся в описании вакансий и резюме, размещенных на онлайн-порталах. Отсутствие в экономической литературе единых подходов к анализу вакансий и навыков из онлайн-источников обусловили актуальность темы исследования с теоретической и практической точек зрения.

Целью исследования является теоретическое обоснование, разработка и апробация методики сбора и анализа вакансий из онлайн-источников для определения и визуализации наиболее востребованных и наиболее оплачиваемых навыков в них. Эмпирической основой исследования является массив данных о 580 вакансиях инженеров-технологов и 720 вакансиях смежных специалистов в легкой промышленности Республики Беларусь, сформированный методом веб-скрейпинга из открытых онлайн-порталов вакансий (на 02.11.2024), содержащий сведения о требуемых навыках и предлагаемом уровне заработной платы. На основе технологий больших данных в режиме реального времени с отобранных экспертами сайтов и онлайн-порталов собрана и обработана информация по отдельным профессиям (количество вакансий, указанные в них навыки, заработная плата), а также с применением большой языковой модели (Claude) проведено их сравнение, выделены уникальные и сквозные навыки, разработана возможность визуализации результатов анализа в виде графиков и диаграмм с учетом интересов различных групп пользователей. Установлено, что наибольшую ценность на рынке инженерных специальностей имеют комплексные компетенции, особенно сочетание знания производственных процессов с управленческими навыками (премия к заработной плате до 24,5 %) и владением современными технологиями. Выявлена значительная региональная дифференциация заработных плат (коэффициент вариации 23,8 %), при этом средняя заработная плата в столичном регионе превышает среднереспубликанский показатель на 25 %. К наиболее оплачиваемым относится профессия конструктора-технолога во всех регионах.

Предлагаемый подход, в отличие от существующих, предназначен для использования не только на макро-, но и на микроуровне, поскольку создает основу для оптимизации кадровых бизнес-процессов в организациях.

Исследование проведено в рамках научно-исследовательской работы «Теоретические подходы и методическое обеспечение анализа рынка труда в Республике Беларусь с применением больших данных» при финансовой поддержке Белорусского фонда фундаментальных исследований по договору Г24-013.

Ключевые слова: большие языковые модели, анализ рынка труда, профессиональные навыки, заработная плата, комплементарность навыков, кадровые бизнес-процессы.

Информация о статье: поступила 23 ноября 2024 года.

The use of big data on the labor market in HR business processes of organizations in the Republic of Belarus

Alena V. Vankevich, *Vitebsk State Technological University,*
Iryna N. Kalinouskaya *Republic of Belarus*

Abstract. The growing volume of information about the labor market in the context of economy digitalization, on the one hand, and the increasing transaction costs associated with the recruiting, hiring and dismissing workers due to the mismatch

between their skills and the employer requirements on the other hand highlight the need to develop tools for the efficient collection, processing and analysis of data contained in the description of vacancies and resumes posted on online portals. The absence of unique approaches to the analysis of vacancies and skills from online sources in the economic literature underscores the theoretical and practical relevance of the research topic.

The purpose of the study is to theoretically substantiate, develop, and test a methodology for collecting and analyzing vacancies from online sources in order to identify and visualize the most in-demand and highly paid skills they require. The empirical basis of the study is an array of data on 580 vacancies for process engineers and 720 vacancies for related specialists in the light industry of the Republic of Belarus, formed by means of web scraping from open online job portals (as of 11/22/2024), containing information about the required skills and the proposed salary level. Based on real-time big data technologies, information on individual professions (the number of vacancies, the skills indicated in them, and wages) was collected and processed by sites and online portals selected by experts. Using a large language model called Claude, their comparison was carried out, unique and end-to-end skills were highlighted, and the ability to visualize the analysis results in the form of graphs and diagrams was developed, taking into account the interests of various user groups. It has been determined that complex competencies have the greatest value in the market of engineering specialties, especially the combination of knowledge of production processes with managerial skills (salary premium up to 24.5 %) and mastery of state-of-art technologies. A significant regional differentiation of wages was revealed (coefficient of variation 23.8 %), while the average wages in the metropolitan region exceeds the national average ones by 25 %. The most well-paid profession is that of a design technologist in all regions. The proposed approach, unlike the existing ones, is intended for use not only at the macro level, but also at the micro level, since it creates the basis for optimizing HR business processes in organizations. The study was conducted within the framework of the research work "Theoretical approaches and methodological support for the analysis of the labor market in the Republic of Belarus using big data" with the financial support of the Belarusian Foundation for Basic Research under the agreement G24-013.

Keywords: large language models, labor market analysis, professional skills, wages, complementarity of skills, HR business processes.

Article info: received November 23, 2024.

Введение

Участники рынка труда для принятия эффективных решений нуждаются в оперативной, качественной информации. Статистические данные не всегда информативны и своевременны, а административные часто являются закрытыми. В условиях расширения информационного поля за счет онлайн-источников появляется возможность использования больших данных о рынке труда – то есть информации о вакансиях, резюме, навыках, накапливаемой на онлайн-порталах вакансий, сайтах предприятий, других источниках, обрабатываемых и визуализируемых с помощью специального программного обеспечения [Ванкевич и др., 2020; Vankevich & Kalinouskaya, 2021; Ванкевич и Калиновская, 2022; Ванкевич и Калиновская, 2023; Калиновская, 2024]. Чётких количественных критериев, определяющих параметры отнесения массива информации к большим данным по критерию объема и скорости, не существует. Это зависит от потребностей пользователей информацией. Экспертно, требования к нижней границе по

объему определены в несколько десятков терабайт или единицы петабайт, по скорости – генерируемые с высокой скоростью и требующие обработки в реальном времени или близко к реальному времени (или возможность обрабатывать данные без значительной задержки, по мере их поступления). Однако остаются дискуссионными вопросы о репрезентативности полученной базы данных, ее структурирования, обработки и расчета показателей для дальнейшего анализа и принятия решений. Целью исследования является теоретическое обоснование, разработка и апробация методики сбора и анализа вакансий из онлайн-источников для определения и визуализации наиболее востребованных и наиболее оплачиваемых навыков в них.

Материалы и методы исследования

Эмпирической основой исследования является массив данных (сформированный методом веб-скрейпинга из открытых онлайн-порталов вакансий Belmeta.com, Rabota.by, Praca.by, GSZ.gov.by) о вакансиях в легкой промышленности: 580 вакансиях инженеров-техноло-

гов (содержащих 1456 навыков), инженеров по качеству (53 вакансии, 397 навыков), конструкторов-технологов (76 вакансий, 167 навыков), инженеров по охране труда (591 вакансия, 1832 навыков) и предлагаемом уровне заработной платы на них (на 02.11.2024).

В исследовании использованы следующие методы: метод компаративного анализа теоретических и прикладных подходов к использованию больших данных в анализе рынка труда, единства исторического и логического, анализа и синтеза, применение больших языковых моделей (в частности, Claude) для анализа смежных специальностей и систематизации навыков по категориям, что позволило эффективно обработать текстовые данные вакансий и выявить взаимосвязи между специальностями через общие навыки. Для анализа навыков использовались методы дескриптивной статистики, методы дисперсионного и регрессионного анализа для определения наиболее оплачиваемых навыков и различий в ценовых предложениях на рынке труда в зависимости от комбинации навыков.

Как свидетельствует анализ зарубежных источников, технологии использования больших данных открывают многочисленные перспективы для аналитики рынка труда, планирования и прогнозирования бизнес-процессов в организациях.

К первому направлению использования больших данных на рынке труда правомерно отнести разработки, связанные с консолидацией данных о вакансиях, резюме и навыках с различных онлайн-источников для получения репрезентативной базы. Мировые лидеры в формировании больших данных о рынке труда – организации «Burning Glass» и «Wanted Analytics» – формируют методом веб-скрейпинга массивы данных с онлайн-порталов, веб-сайтов, газет, других источников, социальных сетей, платформ (Boselli, 2017). Основными пользователями такой информации являются органы государственного управления, университеты, колледжи. Например, правительство Сингапура, Канады наняло Burning Glass для формирования информационно-аналитической системы рынка труда (Johnson, 2016, стр. 2). В 2014 г. LinkedIn объявил конкурс на использование его данных в развитии экономики, из 250 предложений было отобрано 11, из них 8 – имели отношение к анализу рынка труда. В настоящее время этот проект поддержан Facebook, Google и другими медиа-компаниями ([Johnson, 2016, стр. 4).

Вторым направлением использования больших данных о рынке труда является их обработка с помощью искусственного интеллекта для получения новой информации. Так, ряд авторов, используя фрагменты базы данных, сформированных Burning Glass Institute, исследуют возможности обработки информации о вакансиях, собранных с онлайн-порталов вакансий, для классификации навыков и занятий, определения пула наиболее высокооплачиваемых навыков, сквозных (универсальных) и уникальных навыков, новых (зарождающихся) профессий. В работе (Lassebie et al, 2021) предложен алгоритм классификации 17 тыс. навыков, упоминаемых в вакансиях, расположенных на онлайн-порталах, в результате сформирована 61 категория навыков, которая согласуется с существующей классификацией O*NET, но получена в отличие от ручной классификации, быстрее и с меньшими затратами. В работе (Boselli et al, 2017) проиллюстрирован пример формирования информационной системы рынка труда для нескольких стран ЕС на основе парсинга и анализа более 2 млн вакансий, автоматической классификации навыков в них с применением классификаторов ESCO и ISCO (с использованием машинного обучения). В работе (Samek, Squicciarini, Cameraat, 2021) показано, что наряду с общей тенденцией роста спроса на навыки в области программирования и искусственного интеллекта, растет взаимосвязанная потребность в социально-эмоциональных навыках, что дает дополнительный эффект для работников (однако ситуация дифференцируется в разрезе занятий и регионов). В работе (Djmalieva, Sleeman, 2018) предложена авторская методология классификации навыков с помощью машинного обучения, отличная от существующих классификаторов (ESCO, O*NET). Методология предполагает моделирование навыков в виде кластеров, основанных на комбинировании различных навыков (то есть их повторении в описании вакансий), с последующей оценкой силы связей между навыками по частоте фактических совпадений навыков в одном и том же объявлении, и их общим контекстом. Преимуществами такой методологии классификации навыков авторы считают оперативное реагирование на изменение ситуации на рынке труда. В работе (Deming and Kahn, 2018) авторами выделено 10 групп навыков, упоминаемых в описании вакансий на онлайн-источниках и проанализирован набор востребованных и наиболее оплачиваемых групп навыков в разрезе занятий и региональных рынков труда. Выявлено, что основным

дифференцирующим фактором уровня вознаграждения на рынке труда являются профессиональные навыки, а социальные и когнитивные навыки выступают дополняющими к ним (то есть они увеличивают вознаграждение только в сочетании с профессиональными навыками, а в отдельности такого эффекта не дают). В работе (Djumaieva, Lima and Sleeman, 2018) предложена методология классификации профессий на основе навыков с помощью машинного обучения (на основе обработки описания 37 млн онлайн-вакансий в Великобритании, собранных Burning Glass). В результате сформировано 4 класса профессий, что может быть использовано при построении индивидуального плана карьеры на основе оценки индивидом своего набора навыков (поскольку в отличие от существующих классификаций, здесь пулы профессий группируются по навыкам).

Третьим направлением использования больших данных, обработанных с помощью технологий искусственного интеллекта, является анализ различных аспектов рынка труда: например, анализ затрат на персонал (Bayon, Calderon and Rassier, 2022), анализ структуры занятости (Cameraat and Squicciarini, 2021), для оценки динамики и дифференциации спроса на отдельных специалистов (например, спрос на специалистов по искусственному интеллекту), изменение вознаграждения в разрезе занятий в зависимости от владения навыками, связанными с искусственным интеллектом – в работе (Goldfarb, Taska and Could, 2021).

Четвертым направлением использования больших данных, обработанных с помощью технологий искусственного интеллекта, является анализ рынка труда с позиций выявления несоответствий на нем, в целях лучшего согласования направлений подготовки специалистов в системе образования с требованиями работодателей. Например, в работе (Bruning and Mangeol, 2020) на основе обработки более чем 9 млн вакансий проведен анализ спроса на выпускников учреждений высшего образования в 4 штатах США и выделены кластеры профессий, в которых могут себя реализовать выпускники социологических факультетов университетов. Авторы сделали вывод, что «данные о вакансиях могут дополнить существующие системы информации о рынке труда и помочь преподавателям и политикам в согласовании спроса на рабочую силу и образовательных предложений. При эффективном анализе и распространении такие данные могут также помочь студентам и работникам в принятии решений об обучении и ка-

рьере» (Bruning and Mangeol, 2020, стр. 1) – например, выявить возможности для построения своего собственного профессионального пути. На разработку методики прогнозирования нехватки навыков направлен подход авторов в работе (Dawson, Rizouiu, Johnston and Williams, 2020), где с помощью машинного обучения проведен анализ данных, содержащихся в 7,7 млн вакансий в Австралии и 20 показателей, характеризующих занятость в стране (количество отработанных часов, стаж, медианная заработная плата, др.) в качестве объясняющих переменных, что позволило с высокой долей точности оценить размеры нехватки навыков для 132 профессий. Работа (Brown and Souto-Otero, 2018) дополняет данные исследования анализом различий между формальными сигналами о наличии образования (диплом) и реальными навыками, которыми владеет выпускник. На основе анализа данных, содержащихся в более чем 21 млн вакансий Великобритании, доказано, что найм на работу в большей степени определяется не дипломом, а готовностью выпускника к работе. В работе (Beblavy, Fabo and Lenaerts, 2016) проанализирован спрос на ИТ-навыки, дифференцированно в разрезе уровней владения ими. Это позволило авторам сделать вывод о близости результатов экспертной оценки и оценки, полученной с помощью технологий искусственного интеллекта, что позволяет рассматривать данную технологию как результативный и экономичный ресурс для анализа рынка труда и его сегментов.

Пятым направлением использования больших данных на рынке труда является разработка инструментов для применения результатов анализа больших данных о рынке труда в практике работы специалистов по управлению человеческими ресурсами в организациях (в профориентации, построении планов карьерного роста, пр.) (Tasnim at all, 2020; Mgarbi at all, 2023; Najjar at all, 2021) при анализе заработных плат, банка резюме – например, Glass door, Career Builder EMSI (Economic Modeling Specialists Intelligence) (Johnson, 2016, стр. 4).

Также необходимо отметить разнообразную палитру технических инструментов, применяемых при сборе и обработке больших данных о рынке труда. В работе (Tasnim at all, 2020) сбор вакансий осуществляется с помощью программы-краулера, а извлеченные вакансии классифицированы методом кластеризации, где плотность кластера характеризует напряженность в сегменте рынка труда и позволяет более эффективно осуществлять подбор персонала. В работе (Mgarbi at all, 2023)

предложена автоматизированная система измерения степени соответствия информации, которая указана в резюме соискателей, с характеристиками вакансий в рамках сформированных списков специальностей (сходство оценивается с помощью евклидова расстояния). В работе (Najjar et al, 2021) разработана интеллектуальная система поддержки принятия решений при рекрутинге (I-Recruiter) для отбора наиболее подходящего под вакансию резюме.

В европейских странах инициированы крупные проекты по интеграции больших данных о рынке труда с официальной статистикой (проект Евростата) (Mezzanatica, Mercorio, 2019), формирование информационных панелей, в том числе с использованием интерактивной графики.

В Российской Федерации АНО «Центр научных исследований в сфере профориентации и психологии труда» в 2021–2022 гг. создана цифровая модель рынка труда «Магуча» – консолидирует информацию о рынке труда с различных онлайн-источников и сравнивает с официальными статистическими данными (Смирнов, 2023). В ФГБУ «ВНИИ труда» Министерства труда РФ разработана АИС «Мониторинг рынка труда» – это программно-аппаратный комплекс по мониторингу вакансий и резюме, в котором источниками данных являются открытые данные HeadHunter, SuperJob, статистические данные Министерства просвещения РФ. Сформированные базы данных предоставляются ученым для проведения научных исследований (Волгин, Гимпельсон, 2021).

Использование больших данных на рынке труда позволяет снять ограничения, присущие традиционным (статистическим и административным) данным. Как показывают исследования, их интеграция увеличивает скорость получения обработанной информации, ее точность, расширяет возможности интеграции с другими источниками, расширяет круг пользователей и в конечном счете, сокращает затраты на информационное обеспечение политики занятости и политики в сфере образования. Это способствует снижению несоответствий на рынке труда и следовательно росту производительности труда и эффективности занятости.

Результаты исследования: методика анализа вакансий и навыков из онлайн-источников и ее апробация

Учитывая позитивный зарубежный опыт, на основе технологий больших данных в режиме реального времени собрана и обработана информация с отобранных экспертами сайтов и онлайн-порталов Бела-

руси (Belmeta.com, Rabota.by, Praca.by, GSZ.gov.by) по профессиям: «инженер-технолог», «инженер по качеству», «конструктор-технолог» и «инженер по охране труда» в легкой промышленности (по состоянию на 02.11.2024 г.). Из тела вакансий выделены основные навыки, указанные работодателями. С применением большой языковой модели (Claude) проведено сравнение указанных навыков, выделены уникальные и сквозные навыки, предложены варианты визуализации результатов анализа в виде графиков и диаграммы Вена (рисунок 1), которая используется для визуализации множества и их пересечений, показывая как уникальные, так и общие элементы между множествами. В данном случае множества представляют собой профессии, а пересечения – универсальные (или общие, сквозные) навыки, которые требуются в каждой из них. Диаграмма показывает, какие навыки являются уникальными для каждой из этих профессий, а какие навыки востребованы сразу в нескольких профессиях.

Данная информация необходима для оптимизации программ повышения квалификации и переподготовки, ротации кадров, их взаимозаменяемости на производствах (поскольку способствует лучшему распределению задач), повышения эффективности найма.

Дальнейший анализ навыков проведен по следующему алгоритму:

1. Статистическая обработка данных о навыках, указанных в вакансиях, расчет частоты упоминания навыка в вакансиях (как удельного веса вакансий, в которых упоминается навык, к общему числу вакансий) (о правомерности и информативности такого показателя указано в работе (Boselli et al, 2017), что является характеристикой востребованности навыка.

2. Оценка схожести и различий между профессиями с помощью коэффициента KL-дивергенции, что иллюстрирует для работодателей взаимосвязи между профессиями и помогает оптимизировать распределение задач, а учреждениям образования – формировать универсальные модули в учебных планах и программах.

3. Расчет средней заработной платы по пулу собранных вакансий.

4. Статистический анализ влияния факторов на заработную плату (с помощью дисперсионного анализа) в разрезе регионов и профессий.

5. Оценка влияния навыков на заработную плату (с помощью регрессионного анализа).



Рисунок 1 – Диаграмма Венна для визуализации уникальных и универсальных навыков инженера-технолога, инженера по качеству, конструктора-технолога и инженера по охране труда

Figure 1 – A Venn diagram for visualizing the unique and versatile skills of a process engineer, quality engineer, process designer, and occupational safety engineer

Источник: составлено авторами.

6. Оценка отдачи от навыков с помощью уравнения Минцера.

7. Оценка эффектов от сочетания (комплементарности) навыков, анализ комплементарности навыков и их влияния на зарплатные предложения.

Статистический анализ распределения навыков (таблица 1) показал, что ключевыми навыками в рассматриваемых профессиях являются: знание технологических процессов (частота упоминания от 75 % до 90 %), разработка и оптимизация технологических карт (60–79 %), контроль качества [55–73 %]. Управление персоналом имеет наименьший удельный вес во всех профессиях (от 20 % до 40 %), что подчеркивает фокус инженерных профессий на процессах и технологиях, а не на управлении людьми. Частота встречаемости навыков у инженеров-технологов выше, чем у других профессий,

что подтверждает их универсальность. Конструктор-технолог имеет минимальные частоты для всех навыков, что говорит о большей специализации этой профессии.

Оценка различий между требуемыми навыками в профессиях «инженер-технолог», «инженер по качеству», «конструктор-технолог» и «инженер по охране труда» с помощью критерия Кульбака-Лейблера (KL-дивергенция) (таблица 2) позволила выявить профессии с высокой степенью пересечения навыков и определить профессии с более уникальными требованиями.

Критерий Кульбака-Лейблера (KL-дивергенция) – это метод измерения различий между двумя вероятностными распределениями. Он позволяет количественно оценить, насколько одно распределение отклоняется от другого, учитывая их вероятностные веса. Для анализа сравнения компетенций в данном исследовании

Таблица 1 – Частота упоминания ключевых навыков в вакансиях инженеров легкой промышленности, %

Table 1 – The frequency of mentioning key skills in vacancies for light industry engineers, %

Навык	Профессия			
	инженер-технолог	инженер по качеству	конструктор-технолог	инженер по охране труда
Знание технологических процессов производства	90	85	80	75
Разработка и оптимизация технологических карт	79	70	60	65
Контроль качества продукции	73	65	55	60
Работа с конструкторской и технологической документацией	72	60	50	55
Знание современных программных продуктов	64	55	40	50
Опыт работы с оборудованием	50	50	30	45
Управление производственным персоналом	40	30	20	25

Источник: составлено авторами по данным Belmeta.com, Rabota.by, Praca.by, GSZ.gov.by.

Таблица 2 – Матрица дивергенции Кульбака-Лейблера

Table 2 – The Kullback-Leibler divergence matrix

Профессия	Инженер-технолог	Инженер по качеству	Конструктор-технолог	Инженер по охране труда
Инженер-технолог	0,0	0,0027	0,0131	0,0037
Инженер по качеству	0,0027	0,0	0,0099	0,0004
Конструктор-технолог	0,0128	0,0094	0,0	0,0091
Инженер по охране труда	0,0035	0,0004	0,0094	0,0

Источник: составлено авторами.

KL-дивергенция позволяет выявить различия в распределении частот ключевых навыков между профессиями. Это позволяет понять, насколько требования к навыкам в одной профессии отличаются от другой, а также выявить их общие и уникальные особенности.

Критерий Кульбака-Лейблера (DKL) рассчитывается по формуле:

$$D_{KL} = \sum_{i=1}^n P_i \log \frac{P_i}{Q_i}, \quad (1)$$

где P_i – вероятность (частота) навыка i для одной профессии; Q_i – вероятность (частота) навыка i для другой профессии; n – количество навыков.

Меньшие значения $D_{KL(P//Q)}$ указывают на близость распределений навыков между профессиями, большие значения сигнализируют о существенных различиях в требованиях.

Сравнение профессий через дивергенцию Кульбака-Лейблера показало:

– инженер по качеству и инженер по охране труда имеют минимальную KL-дивергенцию (0,0004), что сви-

детельствует о почти идентичных требованиях в базовых навыках, таких как работа с документацией и стандартизация;

- инженер-технолог и инженер по качеству имеют низкую дивергенцию (0,0027), что говорит о значительном пересечении компетенций. Это отражает общий технологический характер их задач, таких как контроль качества и работа с процессами;

- конструктор-технолог значительно отличается от инженера-технолога (0,0131) и инженера по охране труда (0,0094), что указывает на уникальные требования к навыкам проектирования, что менее характерно для других профессий.

Практическая значимость полученных результатов состоит в следующем:

- профессии с низкой дивергенцией (например, инженер-технолог и инженер по качеству) предоставляют хорошие возможности для переквалификации сотрудников или совмещения обязанностей;

- наиболее востребованные навыки, такие как знание технологических процессов и контроль качества, являются ключевыми для многих технических профессий;

- конструктор-технолог и инженер по охране труда имеют наиболее уникальные навыки, что подчеркивает их специализированный характер.

Целью исследования ценовых предложений на рынке труда Республики Беларусь является анализ заработных плат в различных регионах в разрезе специальностей, включая оценку центральных тенденций, уровня

разброса и вариативности предложений (таблица 3, рисунок 2).

В результате анализа выявлена значительная региональная дифференциация заработных плат (коэффициент вариации – 23,8 %), установлена устойчивая закономерность превышения средней заработной платы в столичном регионе над остальными областями. Средняя заработная плата в Минске (1900 руб.) превышает среднереспубликанский показатель на 25 %. К наиболее оплачиваемым относится во всех регионах профессия конструктора-технолога, к наименее – инженера по охране труда.

Дисперсионный анализ влияния вклада различных факторов (территориальная локация, специализация, комбинация навыков) на вариацию предлагаемой заработной платы в вакансиях инженерных работников (в разрезе регионов и профессий) показал, что региональные различия статистически значимы ($F = 12,45$, $p < 0,01$), территориальный фактор объясняет 40,8 % вариации заработных плат ($p < 0,01$), фактор специализации объясняет 27,5 % вариации заработных плат ($p < 0,01$), совокупное влияние изученных факторов составляет 68,3 % общей вариации (таблица 4).

Для оценки влияния навыков на заработную плату был применен регрессионный анализ. В модели линейной регрессии в качестве зависимой переменной принято среднее значение диапазона заработной платы, в качестве независимых переменных:

1. Навыки (бинарные переменные):
 - знание технологических процессов производства (x_1);

Таблица 3 – Анализ предлагаемой заработной платы в разрезе профессий

Table 3 – Analysis of the proposed salary by profession

Специальность	Минимальная зарплата	Максимальная зарплата	Средняя зарплата	Медиана	Мода	Стандартное отклонение	Размах зарплат
Инженер-технолог	700	2500	1525	1500	1200	465	1800
Инженер по качеству	800	2000	1275	1200	1100	340	1200
Конструктор-технолог	1100	2500	1625	1500	1400	435	1400
Инженер по охране труда	600	2100	1250	1200	1100	345	1500

Источник: составлено авторами.

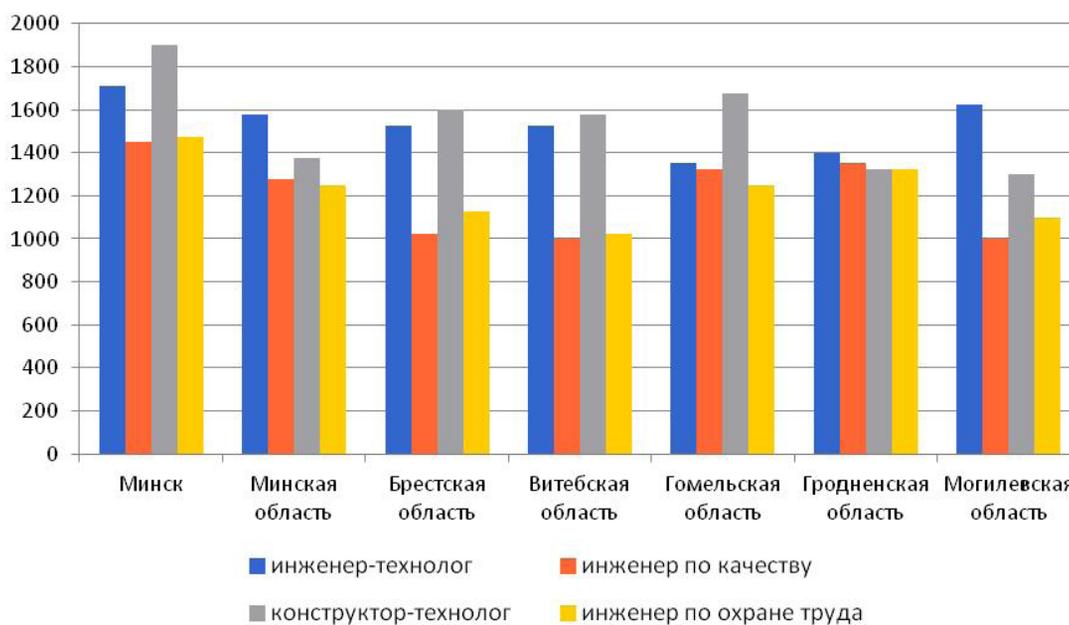


Рисунок 2 – Дифференциация уровня средней заработной платы по пулу анализируемых вакансий в регионах Республики Беларусь, руб.

Figure 2 – Differentiation of the average wages level by the pool of analyzed vacancies in the regions of Belarus, BYB

Источник: составлено авторами.

Таблица 4 – Результаты статистического анализа влияния факторов на заработную плату

Table 4 – Results of statistical analysis of the impact of factors on wages

Фактор	Вклад в вариацию (r^2), %	F-статистика	p-value	Характер влияния
Территориальная локация	40,8	12,45	0,0024	Наибольшие зарплаты в Минске (+25 % к средней по стране). Значимые различия между регионами
Специализация	27,5	8,16	0,0089	Максимальные зарплаты у конструкторов-технологов. Значимые различия между специальностями
Комбинации навыков	21,4	7,23	0,0112	Наибольшая премия за сочетание технологических и управленческих навыков (+24,5 %)
Прочие факторы	10,3	-	-	Неучтенные характеристики (размер предприятия, опыт и др.)

Источник: составлено авторами.

- разработка и оптимизация технологических карт (x_2);
 - контроль качества продукции (x_3);
 - работа с конструкторской и технологической документацией (x_4);
 - знание современных программных продуктов (x_5);
 - опыт работы с оборудованием (x_6);
 - управление производственным персоналом (x_7).
2. Контрольные переменные:
- регионы;
 - специальности.
- Уравнение линейной регрессии имеет вид:

$$Y = 1050,3 + 175,2x_1 + 145,8x_2 + 120,4x_3 + 85,6x_4 + 195,7x_5 + 210,3x_6 + 285,9x_7, \quad (2)$$

Таблица 5 – Результаты регрессионного анализа

Table 5 — Regression analysis results

Показатель	Значение	Значимость
Коэффициент детерминации, R^2	0,683	-
Скорректированный коэффициент детерминации, R^2	0,651	-
F-критерий Фишера	18,45	***
Навык:		
Управление производственным персоналом	+285,9	***
Опыт работы с оборудованием	+210,3	***
Знание современных программных продуктов	+195,7	***
Знание технологических процессов	+175,2	**
Разработка технологических карт	+145,8	**
Контроль качества продукции	+120,4	**
Работа с документацией	+85,6	*
Региональные эффекты:		
г. Минск	+350,4	***
Минская область	+180,2	**
Другие регионы	незначимы	-
Специальности:		
Конструктор-технолог	+205,3	**
Остальные специальности	незначимы	-

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Источник: составлено авторами.

Результаты регрессии (таблица 5) позволяют сделать вывод о том, что наибольшую премию к зарплате дают управленческие навыки (+285,9 руб.). Технические навыки (оборудование, ПО) оцениваются выше, чем базовые профессиональные. Модель объясняет 68,3 % вариации зарплат, при этом региональные различия значимы только для Минска и области. Среди специальностей значимая премия только у конструкторов-технологов.

Для оценки отдачи от навыков использована модель минцеровского типа:

$$\ln(wage) = \beta_0 + \sum(\beta_i \times skill_i) + \gamma X + \varepsilon, \quad (3)$$

где $wage$ – предлагаемая заработная плата; $skill_i$ – бинарные переменные наличия навыков; X – вектор контрольных переменных (регион, специальность); ε – случайная ошибка.

Кластеризация навыков:

- базовые навыки: работа с документацией, знание технологических процессов, контроль качества;
- технические навыки: знание ПО, опыт с оборудованием, разработка техпроцессов;
- управленческие навыки: управление персоналом.

В результате анализа требований работодателей выявлена следующая структура востребованности навыков (в порядке убывания частоты упоминания в вакансиях):

- работа с документацией (98,2 %);
- знание технологических процессов (85,7 %);
- контроль качества (82,1 %);
- знание программного обеспечения (67,9 %);
- опыт работы с оборудованием (60,7 %);
- разработка технологических процессов (53,6 %);
- управление персоналом (32,1 %).

Результаты регрессионного анализа показывают следующие оценки премий к заработной плате с поправкой на региональные эффекты и специальность (таблица 6).

Выявлен значимый синергетический эффект от сочетания (комплементарности) навыков. Наибольшую премию обеспечивают следующие комбинации:

- технологические процессы + ПО + управление: +35,2 % ($\sigma = 5,82$);
- оборудование + ПО + управление: +32,8 % ($\sigma = 5,64$);
- технологические процессы + оборудование + ПО: +28,4 % ($\sigma = 5,23$).

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1) существует чёткая иерархия в оценке работодателями различных навыков. Управленческие компетенции оцениваются существенно выше технических и базовых профессиональных навыков;

2) наблюдается значительная гетерогенность в отдаче от навыков:

- высокая отдача (>15 %): управленческие навыки, работа с оборудованием;
- средняя отдача (10–15 %): технические навыки;
- низкая отдача (<10 %): базовые профессиональные навыки;

3) выявлен существенный эффект комплементарности навыков: комбинации навыков из разных категорий дают премию, превышающую сумму индивидуальных эффектов.

Для анализа пересечений навыков и их влияния на заработную плату использовано базовое уравнение с пересечениями следующего вида:

$$\ln(wage) = \beta_0 + \sum(\beta_i \times skill_i) + \sum(\lambda_{ij} \times (skill_i \times skill_j)) + \gamma X + \varepsilon, \quad (4)$$

где $\ln(wage)$ – логарифм заработной платы; $skill_i$ – бинарные переменные наличия навыков; $skill_i \times skill_j$ – пересечения навыков; X – вектор контрольных переменных (регион, специальность); ε – случайная ошибка.

Таблица 6 – Премия к заработной плате с поправкой на региональные эффекты и специальность

Table 6 – Salary premium adjusted for regional effects and specialty

Навык	Премия, %	Стандартная ошибка	t-статистика
Знание технологических процессов производства	20,1	4,75	4,23***
Разработка и оптимизация технологических карт	15,4	4,46	3,45***
Контроль качества продукции	14,2	4,42	3,21***
Работа с конструкторской и технологической документацией	12,3	4,28	2,87***
Знание современных программных продуктов	10,5	4,13	2,54**
Опыт работы с оборудованием	8,7	4,10	2,12**
Управление производственным персоналом	6,2	3,52	1,76*

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Источник: составлено авторами.

Категоризация навыков:

– технологические навыки: знание технологических процессов производства, разработка и оптимизация технологических карт;

– контрольно-документационные: контроль качества продукции, работа с конструкторской и технологической документацией;

– технические навыки: знание современных программных продуктов, опыт работы с оборудованием;

– управленческие: управление производственным персоналом.

На основании уравнения [4] построена матрица коэффициентов пересечений навыков (λ_i) (таблица 7).

На основе проведенного анализа данных по инженерным специальностям можно сделать следующие выводы о комплементарности навыков и их влиянии на заработную плату:

1) самой сильной комплементарностью обладает сочетание знания технологических процессов производства с управленческими навыками. Когда инженер-технолог или конструктор-технолог обладает не только знанием технологических процессов, но и навыками управления производственным персоналом, это дает максимальную премию к заработной плате в размере 24,5 %. Такая высокая премия объясняется тем, что данное сочетание навыков характерно для руководящих позиций, где требуется как глубокое понимание производства, так и способность управлять людьми;

2) вторым по значимости является сочетание технологических знаний со знанием современных программных продуктов, которое дает премию в размере 16,8 %.

Это отражает важность цифровизации производственных процессов – работодатели высоко ценят специалистов, способных не только понимать технологию, но и работать с современным программным обеспечением;

3) сочетание знания технологических процессов с опытом работы с оборудованием дает премию в 15,7 %. Данная комбинация особенно востребована в производственном секторе, где важно не только теоретическое понимание процессов, но и практический опыт работы с оборудованием;

4) навыки контроля качества в сочетании со знанием программных продуктов дают премию 14,2 %. Это говорит о том, что современные системы контроля качества все больше опираются на цифровые решения, и специалисты, владеющие обеими компетенциями, получают существенную надбавку к зарплате;

5) работа с технической документацией в сочетании со знанием программных продуктов оценивается премией в 12,5 %. Такая комбинация отражает переход от бумажного документооборота к цифровому, где требуется как понимание технической документации, так и уверенное владение специализированным ПО;

6) комбинация навыков работы с программными продуктами и оборудованием дает премию 11,5 %. Это наименьшая, но все же значимая премия, что говорит о важности комплексных технических компетенций.

Важно отметить региональную специфику комплементарности навыков: в Минске премии за комбинации навыков в среднем на 20–25 % выше, чем в других регионах. Особенно это касается сочетания управленческих и технологических навыков. В областных центрах на-

Таблица 7 – Матрица коэффициентов пересечений навыков

Table 7 – Matrix of skill intersection coefficients

Навык 1 x Навык 2	Коэффициент	t-статистика
Техпроцессы × Управление персоналом	0,245	5,12***
Техпроцессы × Программные продукты	0,168	4,23***
Техпроцессы × Работа с оборудованием	0,157	3,98***
Контроль качества × Программные продукты	0,142	3,45***
Документация × Программные продукты	0,125	3,21***
Программные продукты × Оборудование	0,115	2,98***

Примечание: *** $p < 0,01$, ** $p < 0,05$, * $p < 0,1$.

Источник: составлено авторами.

блюдается схожая структура комплементарности, но с разным уровнем премий.

Анализ также показал четкую иерархию в премиях за навыки:

- высшая премия (20–25 %) – за сочетание управленческих навыков с техническими и технологическими;
- средняя премия (15–20 %) – за комбинации технических и технологических навыков;
- базовая премия (10–15 %) – за сочетание базовых профессиональных навыков.

Эта иерархия сохраняется во всех регионах, хотя абсолютные значения премий могут различаться.

Анализ полученных результатов и направления их использования в реализации кадровых бизнес-процессов организации

В результате исследования разработан и апробирован метод анализа вакансий и навыков с помощью больших языковых моделей, позволяющий в режиме реального времени оценить размер спроса на конкретную специальность (профессию), требуемые навыки, установить наиболее оплачиваемые из них, выявить универсальные (сквозные) и уникальные навыки, что в совокупности является основой для принятия кадровых решений в организациях о найме, вознаграждении, повышении квалификации, ротации персонала и пр.

Проведенный анализ показал, что наибольшую ценность на рынке инженерных специальностей имеют комплексные компетенции, особенно сочетание глубокого понимания производственных процессов с управленческими навыками и владением современными технологиями. Это отражает потребность современного производства в специалистах, способных не только решать технические задачи, но и эффективно управлять производственными процессами с использованием современных инструментов.

Полученные результаты являются основанием для оптимизации кадровых бизнес-процессов на микроуровне, поскольку подтверждают целесообразность инвестиций в развитие управленческих компетенций и технических навыков, которые обеспечивают наибольшую отдачу, обосновывают направления оптимального распределения задач между специалистами родственных профессий, возможность их совмещения, ротации, взаимозаменяемости. Полученная информация также может служить основанием для разработки планов развития персонала организаций и направлений взаимодействия с базовыми учреждениями образова-

ния для формирования необходимого пула навыков. Эти инструменты особенно нужны специалистам по управлению персоналом.

Таким образом, несмотря на то, что первоначальные исследования в области применения больших данных были сфокусированы на пользователей макроуровня, большие данные имеют огромные утилитарные возможности для микроуровня – например, для электронного найма (Boselli et al., 2017), для подбора наиболее подходящих кандидатур по резюме (Najjar et al., 2021).

Но следует отметить, что для получения и использования такой информации необходимы следующие условия:

- четкая и единообразная форма описания навыков в вакансиях и в резюме. В настоящее время отсутствует единый классификатор навыков, поэтому наниматели при описании навыков в вакансиях не придерживаются единого подхода, что затрудняет их анализ. Информация в резюме еще хуже структурирована, чем в вакансиях;

- автоматизация деятельности кадровых служб, готовность специалистов кадровых служб к восприятию новых методов работы и новых массивов информации.

Основными ограничениями при использовании больших данных в анализе рынка труда являются:

- проблема репрезентативности данных (поскольку порталы не обеспечивают 100%-ый охват, формируемые массивы данных могут быть смещены);
- структурирование данных;
- затраты на сбор и хранение массивов данных;
- доступ;
- защита персональных данных;
- дублирование информации о вакансиях и резюме;
- размещение резюме не для найма, а для понимания тенденций на рынке труда.

Поэтому специалисты приходят к выводу, что большие данные для рынка труда не являются панацеей (Johnson, 2016, p. 7), их использование в большей степени будет эффективным для специальных целей – например, для трудоустройства молодежи, разработки программ повышения квалификации, подбора необходимых работников, планирования профессионального роста и ротации персонала, др.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Ванкевич, Е.В., Коробова, Е.Н., Зайцева, О.В., Алексеева, Е.А. и Калиновская, И.Н. (2020). *Управление человеческими ресурсами современной организации: теория и практика*. Витебск: УО «ВГТУ», Республика Беларусь.

Ванкевич, Е.В. и Калиновская, И.Н. (2022). Изменение подходов к анализу конъюнктуры рынка труда в условиях цифровизации экономики (на примере текстильной промышленности Республики Беларусь). *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 5 (401), С. 27–37. DOI 10.47367/0021-3497_2022_5_27.

Ванкевич, Е.В. и Калиновская, И.Н. (2023). Методические аспекты формирования цифровой экономики рынка труда в Республике Беларусь. *Экономика Северо-запада: проблемы и перспективы развития*, № 3 (74), С. 4–16.

Волгин, А.Д. и Гимпельсон, В.Е. (2022). Спрос на навыки: анализ на основе онлайн данных о вакансиях. *Экономический журнал ВШЭ*, № 3, С. 343–375.

Калиновская, И.Н. (2024). Современные методы сбора и обработки информации о рынке труда и направления их использования в практике управления человеческими ресурсами. *Вестник Витебского государственного технологического университета*, № 2(48), С. 82–101. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-82-101.

Смирнов, А.Ю. (2023). Цифровая модель рынка труда: ключевые аспекты работы программного комплекса. *Экономика труда*, Том 10, № 10, С. 1535–1552. doi: 10.18334/et.10.10.119514.

Bayoán, J., Calderón, S. and Rassier, D.G. (2022). Valuing the U.S. Data Economy Using Machine Learning and Online Job Postings U.S. Bureau of Economic Analysis, [Online], URL: <https://www.bea.gov/research/papers/2022/valuing-us-data-economy-using-machine-learning-and-online-job-postings>, (Accessed 02.11.2024).

Beblavý, M., Fabo, Br. and Lenaerts, K. (2016). Demand for Digital Skills in the US Labour Market: The IT Skills Pyramid. CEPS Special Report. [Online], URL: https://www.aei.pitt.edu/82628/1/SR154_IT_Skills_Pyramid_0.pdf, (Accessed 02.11.2024).

Boselli, R., Cesarini, M., Marrara, S., Mercorio, F., Mezzanzanica, M., Pasì G. and Viviani, M. (2017). WoLMIS: a labor market intelligence system for classifying web job vacancies. [Online], URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10844-017-0488-x>, (Accessed 02.11.2024).

Boselli, R., Cesarini, M., Mercorio, F. and Mezzanzanica, M. (2018). Classifying online job advertisements through machine learning, *Future Generation Computer Systems*. [Online], URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.035>, (Accessed 04.11.2024).

Brüning, N. and Mangeol, P. (2020). What skills do employers seek in graduates?: Using online job posting data to support policy and practice in higher education. [Online], URL: <https://doi.org/10.1787/bf533d35-en>, (Accessed 04.11.2024).

Brown P., & Souto-Otero M. (2018). The end of the credential society? An analysis of the relationship between education and the labour market using big data. *Journal of Education Policy*, № 35(1), P. 95–118.

Cammeraat, E. and Squicciarini, M. (2021). Burning Glass Technologies' data use in policy-relevant analysis: An occupation-level assessment, OECD Science. *Technology and Industry Working Papers*. № 2021/05, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/cd75c3e7-en>.

Colombo, E., Mercorio, F. and Mezzanzanica, M. (2019). AI meets labor market: Exploring the link between automation and skills. *Information Economics and Policy*, № 47, P. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>

Dawson, N., Rizoïu, M.-A., Johnston, B. and Williams, M.-A. (2020). Predicting skill shortages in labor markets: A machine learning approach. *In 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Pp. 3052–3061.

Djumalievá, J. and Sleeman, C. (2018). An Open and Data-driven Taxonomy of Skills Extracted from Online Job Adverts. *Developing Skills in a Changing World of Work: Concepts, Measurement and Data Applied in Regional and Local Labour Market Monitoring Across Europe*. [Online], URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Open-and-Data-driven-Taxonomy-of-Skills-from-Job-Djumalievá-Sleeman/54dcef5e2e7837424997aaf29d807121d88ab49f>, (Accessed 01.11.2024).

Deming, D. and Kahn, L.B. (2018). Skill Requirements across Firms and Labor Markets: Evidence from Job Postings for Professionals. *Journal of Labor Economics*, № 36, S1, P. 337–369.

Djumalievá, J., Lima, A. and Sleeman, C. (2018). Classifying Occupations According to Their Skill Requirements in Job Advertisements. *Economic Statistics Centre of Excellence (ESCoE)*, № 2018-04, P. 136–151.

Goldfarb, A., Taska, B. and Could, T.FI. (2021). Machine learning be a general purpose technology? A comparison of emerging technologies using data from online job postings. SSRN.COM. [Online], URL: <https://ssrn.com/abstract=3468822> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3468822>, (Accessed 05.11.2024).

Johnson, E.M. (2016). Can Big Data Save Labor Market Information System? [Online], <https://www.voced.edu.au/content/ngv%3A84145>, (Accessed 05.11.2024).

Korrapati, L., Malineni, V., Rama, P., Raghava, S., Konduru, U. and Kalaria, A. (2022). A Machine Learning Approach for Automation of Resume Recommendation System. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 10, Pp. 4387–4393.

Lassébie, J., Marcolin, L., Vandeweyer, M. and Vignal, B. (2021). Speaking the same language: A machine learning approach to classify skills in Burning Glass Technologies data. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, № 263. Pp. 231–269.

Mgarbi, H., Chkouri, M.Y. and Tahiri, A. (2023). Building a recommendation system based on the job offers extracted from the web and the skills of job seekers. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 13, № 6, Pp. 6964–6971, DOI: 10.11591/ijece.v13i6.pp6964-6971.

Mezzanzanica, M. and Mercorio, F. (2019). Big Data for Labour Market Intelligence – An Introductory Guide. European Training Foundation. [Online], URL: <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/big-data-labour-market-intelligence-introductory-guide>, (Accessed 15.11.2024).

Najja, A., Amro, B. and Macedo, M. (2021). An Intelligent Decision Support System For Recruitment: Resumes Screening and Applicants Ranking. *Informatica*, № 45, Pp. 617–623.

Sentz, R. Labor Market Data and Analysis for Site Selection EMSI. [Online], URL: <https://beforeitsnews.com/economy/2019/09/emsi2019-presentations-2985423.html>, (Accessed 07.11.2024).

Samek, L., Squicciarini, M. and Cammeraat, E. (2021). The human capital behind AI: Jobs and skills demand from online job postings, OECD Science. *Technology and Industry Policy Papers*, № 120, Pp. 152–186.

Tasnim, Z., Shamrat, F.M., Javed Mehedi, Allayear, S.M., Khobayeb, A. and Nobel, N.I. (2020). Implementation of an Intelligent Online Job Portal Using Machine Learning Algorithms. [Online], URL: https://www.researchgate.net/publication/351338949_Implementation_of_an_Intelligent_Online_Job_Portal_Using_Machine_Learning_Algorithms, (Accessed 07.11.2024).

The feasibility of using big data in anticipating and matching skills needs [2020], [Online], URL: https://www.oitcinterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/wcms_759330.pdf, (Accessed 21.11.2024).

Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2021). Better understanding of the labour market using Big Data. *Ekonomia i pravo. Economics and law*, Vol. 20, № 3, Pp. 677–692.

REFERENCES

Vankevich, A.V., Korobova, A.N., Zaitseva, O.V., Alekseeva, A.A. and Kalinovskaya, I.N. (2020). *Upravlenie chelovecheskimi resursami sovremennoj organizacii: teoriya i praktika* [Human resource management of a modern organization: theory and practice]. Vitebsk: EI «VSTU», Republic of Belarus (In Russian).

Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2022). Changing approaches to analyzing labor market conditions in the context of digitalization of the economy (using the example of the textile industry of the Republic of Belarus) [Izmenenie podhodov k analizu kon'yunktury rynka truda v usloviyah cifrovizacii ekonomiki (na primere tekstil'noj promyshlennosti Respubliki Belarus')]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti = News of higher educational institutions. Textile industry technology*, № 5 (401), Pp. 27–37. DOI 10.47367/0021-3497_2022_5_27 (In Russian).

Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2023). Methodological aspects of the formation of the digital economy of the labor market in the Republic of Belarus [Metodicheskie aspekty formirovaniya cifrovoj ekonomiki rynka truda v Respublike Belarus']. *Ekonomika Severo-zapada: problemy i perspektivy razvitiya = The economy of the North-West: problems and prospects of development*, № 3 (74), Pp. 4–16 (In Russian).

Volgin, A.D. and Gimpelson, V.E. (2022). Demand for skills: analysis based on online job data [Spros na navyki: analiz na osnove onlajn dannyh o vakansiyah]. *Ekonomicheskij zhurnal VShE = HSE Economic Journal*, № 3, Pp. 343–375 (In Russian).

Kalinouskaya, I. (2024). Modern methods of collecting and processing information about the labor market and the directions of their use in the practice of human resource management [Sovremennyye metody sbora i obrabotki informacii o rynke truda i napravleniya ih ispol'zovaniya v praktike upravleniya chelovecheskimi resursami]. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of the Vitebsk State Technological University*, № 2(48), Pp. 82–101. DOI:10.24412/2079-7958-2024-2-82-101 (In Russian).

Smirnov, A.Yu. (2023). Digital model of the labor market: key aspects of the software package [Cifrovaya model' rynka truda: klyuchevye aspekty raboty programmnoogo kompleksa]. *Ekonomika truda = Labor economics*, № 10, Pp. 1535–1552. doi: 10.18334/et.10.10.119514 (In Russian).

Bayoán, J., Calderón, S. and Rassier, D.G. (2022). Valuing the U.S. Data Economy Using Machine Learning and Online Job Postings U.S. Bureau of Economic Analysis, [Online], URL: <https://www.bea.gov/research/papers/2022/valuing-us-data-economy-using-machine-learning-and-online-job-postings>, (Accessed 02.11.2024).

Beblavý, M., Fabo, Br. and Lenaerts, K. (2016). Demand for Digital Skills in the US Labour Market: The IT Skills Pyramid. CEPS Special Report. [Online], URL: https://www.aei.pitt.edu/82628/1/SR154_IT_Skills_Pyramid_0.pdf, (Accessed 02.11.2024).

Boselli, R., Cesarini, M., Marrara, S., Mercorio, F., Mezzanzanica, M., Pasi, G. and Viviani, M. (2017). WoLMIS: a labor market intelligence system for classifying web job vacancies. [Online], URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10844-017-0488-x>, (Accessed 02.11.2024).

Boselli, R., Cesarini, M., Mercorio, F. and Mezzanzanica, M. (2018). Classifying online job advertisements through machine learning, *Future Generation Computer Systems*. [Online], URL: <https://doi.org/10.1016/j.future.2018.03.035>, (Accessed 04.11.2024).

Brüning, N. and Mangeol, P. (2020). What skills do employers seek in graduates?: Using online job posting data to support policy and practice in higher education. [Online], URL: <https://doi.org/10.1787/bf533d35-en>, (Accessed 04.11.2024).

Brown, P. and Souto-Otero, M. (2018). The end of the credential society? An analysis of the relationship between education and the labour market using big data. *Journal of Education Policy*, № 35(1), P. 95–118.

Cammeraat, E. and Squicciarini, M. (2021). Burning Glass Technologies' data use in policy-relevant analysis: An occupation-level assessment, OECD Science. *Technology and Industry Working Papers*. № 2021/05, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/cd75c3e7-en>.

Colombo, E., Mercorio, F. and Mezzanzanica, M. (2019). AI meets labor market: Exploring the link between automation and skills. *Information Economics and Policy*, № 47, P. 27–37. <https://doi.org/10.1016/j.infoecopol.2019.05.003>

Dawson, N., Rizo, M.-A., Johnston, B. and Williams, M.-A. (2020). Predicting skill shortages in labor markets: A machine learning approach. *In 2020 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, Pp. 3052–3061.

Djumaliev, J. and Sleeman, C. (2018). An Open and Data-driven Taxonomy of Skills Extracted from Online Job Adverts. *Developing Skills in a Changing World of Work: Concepts, Measurement and Data Applied in Regional and Local Labour Market Monitoring Across Europe*. [Online], URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/An-Open-and-Data-driven-Taxonomy-of-Skills-from-Job-Djumaliev-Sleeman/54dcef5e2e7837424997aaf29d807121d88ab49f>, (Accessed 01.11.2024).

Deming, D. and Kahn, L.B. (2018). Skill Requirements across Firms and Labor Markets: Evidence from Job Postings for Professionals. *Journal of Labor Economics*, № 36, S1, P. 337–369.

Djumaliev, J., Lima, A. and Sleeman, C. (2018). Classifying Occupations According to Their Skill Requirements in Job Advertisements. *Economic Statistics Centre of Excellence (ESCoE)*, № 2018-04, P. 136–151.

Goldfarb, A., Taska, B. and Could, T.F.I. (2021). Machine learning be a general purpose technology? A comparison of emerging technologies using data from online job postings. SSRN.COM. [Online], URL: <https://ssrn.com/abstract=3468822> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3468822>, (Accessed 05.11.2024).

Johnson, E.M. (2016). Can Big Data Save Labor Market Information System? [Online], <https://www.voced.edu.au/content/ngv%3A84145>, (Accessed 05.11.2024).

Korrapati, L., Malineni, V., Rama, P., Raghava, S., Konduru, U. and Kalaria, A. (2022). A Machine Learning Approach for Automation of Resume Recommendation System. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*, Volume 10, Pp. 4387–4393.

Lassébie, J., Marcolin, L., Vandeweyer, M. and Vignal, B. (2021). Speaking the same language: A machine learning approach to classify skills in Burning Glass Technologies data. *OECD Social, Employment and Migration Working Papers*, № 263. Pp. 231–269.

Mgarbi, H., Chkouri, M.Y. and Tahiri, A. (2023). Building a recommendation system based on the job offers extracted from the web and the skills of job seekers. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol. 13, № 6, Pp. 6964–6971, DOI: 10.11591/ijece.v13i6.pp6964-6971.

Mezzanatica, M. and Mercorio, F. (2019). Big Data for Labour Market Intelligence – An Introductory Guide. European Training Foundation. [Online], URL: <https://www.etf.europa.eu/en/publications-and-resources/publications/big-data-labour-market-intelligence-introductory-guide>, (Accessed 15.11.2024).

Najjar, A., Amro, B. and Macedo, M. (2021). An Intelligent Decision Support System For Recruitment: Resumes Screening and Applicants Ranking. *Informatica*, № 45, Pp. 617–623.

Sentz, R. Labor Market Data and Analysis for Site Selection EMSI. [Online], URL: <https://beforeitsnews.com/economy/2019/09/emsi2019-presentations-2985423.html>, (Accessed 07.11.2024).

Samek, L., Squicciarini, M. and Cammeraat, E. (2021). The human capital behind AI: Jobs and skills demand from online job postings, OECD Science. *Technology and Industry Policy Papers*, № 120, Pp. 152–186.

Tasnim, Z., Shamrat, F.M. Javed Mehedi, Allayear, S.M., Khobayeb, A. and Nobel, N.I. (2020). Implementation of an Intelligent Online Job Portal Using Machine Learning Algorithms. [Online], URL: https://www.researchgate.net/publication/351338949_Implementation_of_an_Intelligent_Online_Job_Portal_Using_Machine_Learning_Algorithms, (Accessed 07.11.2024).

The feasibility of using big data in anticipating and matching skills needs [2020], [Online], URL: https://www.oitcenterfor.org/sites/default/files/file_publicacion/wcms_759330.pdf, (Accessed 21.11.2024).

Vankevich, A. and Kalinouskaya, I. (2021). Better understanding of the labour market using Big Data. *Ekonomia i pravo. Economics and law*, Vol. 20, № 3, Pp. 677–692.

Информация об авторах

Information about the authors

Ванкевич Елена Васильевна

Доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: vankevich_ev@tut.by

Калиновская Ирина Николаевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

Alena V. Vankevich

Doctor of Science (in Economics), Professor, Vice-Rector for Scientific Research, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: vankevich_ev@tut.by

Iryna N. Kalinouskaya

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

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 подрисовочную 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 подрисовочные 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.

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., Schepker, T.V. and Williams, M.R. (2007).

Источники одного и того же автора должны быть упорядочены по году публикации. Если в одном году опубликовано несколько произведений одного и того же автора, они располагаются в алфавитном порядке названий.

При наличии в описании источника электронного идентификатора DOI, он указывается в конце библиографического описания в списке источников.

2. Список с переводом на английский язык библиографических данных тех источников, которые изданы на других языках (References).

Если все источники изданы на английском языке, второй список не оформляется. Для русскоязычных источников в References в конце описания после указания диапазона страниц в круглых скобках указывается идентификатор языка первоисточника (In Russian).

Библиографическое описание оформляется следующим образом (таблица 2).

Библиографические данные в обоих списках не нумеруются и 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).

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Таблица 2

Статья в научном журнале	Фамилия, И.О. (год). Перевод названия статьи на английский язык [Название в транслитерации]. <i>Название издания в транслитерации = на английском языке курсивом</i> , vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи (In Russian).
Книга	Фамилия, И.О. (год). <i>Название в транслитерации курсивом</i> [Название на английском языке]. Город: издательство, страна (In Russian).

то по названию). В начале списка перечисляются русскоязычные источники, затем иностранные.

Библиографическое описание источников, включенных в международные наукометрические базы (Scopus, Web of Science), выделяются желтым цветом.

Подробные рекомендации по составлению списков литературы по стандарту Harvard представлены на сайте <https://www.emeraldgrouppublishing.com/how-to/authoring-editing-reviewing/use-harvard-reference-system>.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 4 (50)

Дизайн Дударева Д. Д., Погорельская С. И.
Вёрстка издания Погорельская С. И.
Редактор издания Прокопюк А. С.

Подписано в печать 26.02.2025. Печать цифровая. Гарнитура Akrobat, Inter Tight.
Усл. печ. листов 20,1. Уч.-изд. листов 19,0. Формат 60x90 1/8. Тираж 100 экз. Заказ № 104.

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.