

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

BULLETIN

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС

74940 – индивидуальная подписка

749402 – ведомственная подписка

SUBSCRIPTION INDEX

74940 – Individual Subscription

749402 – Corporate Subscription



выпуск / issue

№ 3 (46)

2023

*Технология
материалов и изделий
текстильной и лёгкой
промышленности*

Химическая технология

Экономика



ISSN 2079-7958 (Print)
ISSN 2306-1774 (Online)

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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 3 (46)

ВИТЕБСК 2023

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

№ 3 (46)

VITEBSK 2023

УДК 67/68

ББК 37.2

В 38

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

Вестник Витебского государственного
технологического университета. № 3 (46).
УО «ВГТУ»

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 (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Гусаров А.М., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Джежора А.А., д-р техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Дунина Е.Б., канд. техн. 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 (Открытый институт РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- Козан А.Г., д-р техн. наук, профессор (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Корнилова Н.Л., д-р техн. наук, доцент (ИвГПУ, Российская Федерация)
- Милашис 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 (Текстильный институт 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 (Текстильный институт РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)

Химическая технология

- Редактор – Ясинская Н.Н., д-р техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Гречаников А.В., канд. техн. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Власенко В.И., д-р хим. наук, профессор (КНУД, Украина)
- Дормешкин О.Б., д-р техн. наук, профессор (ВГТУ, 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 (ВГТУ, 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)
- Вайлунова Ю.Г., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, 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)
- Коровова Е.Н., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Меньшиков В.В., д-р социол. наук, профессор (Даугавпилсский университет, Латвия)
- Нехорошева Л.Н., д-р экон. наук, профессор (БГЭУ, Республика Беларусь)
- Плахин А.Е., д-р экон. наук, доцент (УрГЭУ, Российская Федерация)
- Советникова О.П., канд. экон. наук, доцент (ВГТУ, Республика Беларусь)
- Шматко А.Д., д-р экон. наук, профессор (Институт проблем региональной экономики Российской академии наук, Российская Федерация)

Журнал включен в перечень научных изданий Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, в информационно-аналитическую систему «Российский индекс научного цитирования», наукометрические базы Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ), Index Copernicus International (ICI), China National Knowledge Infrastructure (CNKI), научную электронную библиотеку «КиберЛенинка».

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

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/172 от 12 февраля 2014 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 3/1497 от 30 мая 2017 г.

© УО «Витебский государственный
технологический университет», 2023

Web-сайт университета: <http://vstu.by/>

UDC 67/68

BBK 37.2

B 38

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

Bulletin of Vitebsk State

Technological University. № 3 (46).

EI "VSTU"

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 (VSTU, Republic of Belarus)
- Aliaksei M. Husarau, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Alyaksandr A. Jezhora, Dr. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Elena B. Dunina, Cand. Sc. (Eng), 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 (VSTU, 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. Yasinakaya, Dr. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Aliaksandr V. Hrachanikau, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor (VSTU, Republic of Belarus)
- Victoria I. Vlasenko, Dr. Sc. (Chem), Professor (Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine)
- 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)
- Svyatoslav 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 (VSTU, 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)
- Yulia G. Vailunova, Cand. Sc. (Econ), Associate Professor (VSTU, 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

Марущак Ю.И., Ясинская Н.Н.

Влияние многократных стирок на физико-механические свойства экокож 9

Дубровская О.А., Рыклин Д.Б., Саванович С.Э., Зайцев В.В.

Оценка эффективности использования двухслойных тканей для экранирования электромагнитного излучения..... 18

Котович А.В., Ольшанский В.И.

Теплофизические свойства композиционного материала, армированного кострой льна..... 28

Гиссек Н.А., Самойлова Т.А., Севостьянов П.А.

О преобразовании распределения волокнистого материала в технологических процессах прядильного производства 37

Эзенванкво Дж., Петрикова И., Зак Дж.

Определение влияния угла сдвига на параметры тканей 44

Метелева О.В., Бондаренко Л.И.

Исследование промокания опорной поверхности рабочей куртки при испытании дождеванием 51

Химическая технология

Антонова Е.Л., Сыцко В.Е., Шаповалов В.М.

Исследования влияния антипиренов различного вида на горючесть полипропиленовых материалов 61

Томашева Р.Н., Привалов А.Н., Карелина И.В.

Анализ и оценка качества технологических процессов отделки эластичных кож 69

Тоуфикл Хакк М., Клинкхаммер К., Малтиг Б.

Отделка хлопчатобумажных и полиэфирных тканей с использованием хитозансодержащих композиций 84

Самозаова Ю.А., Петрова-Куминская С.В.

Использование интенсификаторов-биоцидов при крашении текстильных материалов дисперсными красителями..... 92

Баллыев С., Сагитова Ф.Р., Шарифуллин Ф.С.

Улучшение адгезионных свойств ПАН волокон для их применения в качестве армирующего компонента в композиционных материалах..... 102

Богатко И.А., Ванкевич Е.В.

Основные направления цифровизации коммуникаций в банковском секторе
Республики Беларусь..... 110

Богдан Н.И.

Особенности формирования технологического суверенитета на современном этапе
развития 124

Касаева Т.В., Коваленко Ж.А., Немкина П.О., Чеботарёва О.Г.

Интегральная оценка качества доходов и расходов организаций на основе скоринговых
моделей 133

Комарова В., Игнатьева С., Кудиньш Я., Чижо Э.

Приоритеты бюджетных расходов самоуправлений Латвии в контексте улучшения
экономики территорий..... 145

ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА» 166

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 169

CONTENTS

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

Yulia I. Maruschak, Natallia N. Yasinskaya

Influence of Repeated Washing on the Physical and Mechanical Properties of Ecoleather 9

Volha A. Dubrouskaya, Dzmitry B. Ryklin, Svyatlana E. Savanovich, Uladzislau U. Zaitsau

Evaluation of the Efficiency of Two-Layer Fabrics for Electromagnetic Shielding 18

Anton V. Kotovich, Valery I. Alshanski

Thermal and Physical Properties of Composite Material Reinforced with Flax Shive..... 28

Natalia A. Gissek, Tatyana A. Samoilova, Petr A. Sevostyanov

About the Transformation of the Distribution of Fibrous Material in the Technological Process of Spinning Industry 37

Johnson Ezenwankwo, Iva Petrikova, Josef Zak

Shear Angle Effect on the Engineering Constants of Woven Fabrics..... 44

Olga V. Meteleva, Lyudmila I. Bondarenko

Characteristics of the Sewing Product Blotting Process when Exposed to Sprinkling Irrigation..... 51

Chemical Engineering

Alena L. Antonava, Valiantsina E. Sytsko, Victor M. Shapovalov

Study of Various Fire Retardants on the Flammability of Polypropylene Materials..... 61

Ryta N. Tomashava, Aliaksei N. Pryvalau, Iryna V. Karelina

Analysis and Quality Evaluation of Technological Processes for Finishing Elastic Leather 69

Mohammad Toufiqul Hoque, Kristina Klinkhammer, Boris Mahltig

Finishing of Cotton and Polyester Fabrics Using Chitosan-Containing Recipes..... 84

Julia A. Samolazova, Sviatlana V. Piatrova-Kuminskaya

The Use of Intensifiers-Biocides in the Dyeing of Textile Materials with Dispersed Dyes..... 92

Salih Ballyev, Farida R. Sagitova, Farid S. Sharifullin

Enhancing the Adhesion Properties of Pan Fibers for their Application as a Reinforcing Component in Composite Materials..... 102

Economics

Iryna A. Bahatka, Alena V. Vankevich

Major Directions of Digitalization of Communications in the Banking Sector
of the Republic of Belarus 110

Nina I. Bohdan

Features of the Formation of Technological Sovereignty at the Current Stage
of Development 124

Tamara V. Kasayeva, Zhanna A. Kovalenko, Polina O. Nemkina, Oksana G. Chebotareva

Integral Assessment of the Quality of Income and Expenses of Organizations Based
on Scoring Models 133

Vera Komarova, Svetlana Ignatyeva, Janis Kudins, Edmunds Cizo

Priorities of Budget Expenditures of Latvian Municipalities in the Context of Improving
the Local Economy 145

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL «BULLETIN OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL
UNIVERSITY» 166

PREPARATION OF LINKS TO SOURCES AND A LIST OF REFERENCES 169

ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ И ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УДК 677.017

DOI: <https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-3-9-17>

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНЫХ СТИРОК НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭКОКОЖ

Ю.И. Марущак, Н.Н. Ясинская

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

При воздействии стирок и иных внешних факторов происходит старение текстильного материала, что негативно отражается на физико-механических свойствах и приводит к уменьшению срока эксплуатации изделия. В работе отражены результаты исследований влияния многократных стирок на физико-механические свойства экокож с полиуретановым покрытием. Образцы подвергались 5, 10 и 15 стиркам в стиральной машине барабанного типа с использованием моющего средства «Бонус» для деликатных тканей белорусского производителя ОАО «БЗПИ» по 30 минут при температуре 40 °С. После каждой стирки образцы подвергались полосканию 5 минут и отжиму вручную без скручивания, и сушке. После завершения каждой стирки и сушки элементарные пробы выдерживали в стандартных климатических условиях в расправленном виде. По результатам исследований установлено, что окраска белорусских экокож устойчива к действию стирок. В процессе стирок материал подвергается комплексному воздействию физико-механических и химических факторов, что приводит к уплотнению структуры тканой основы в результате набухания волокон, что влечёт за собой усадку материала и, как следствие, постепенное снижение воздухопроницаемости и истираемости. Зависимость воздухопроницаемости экокож от количества стирок с высокой степенью достоверности аппроксимации описывается логарифмическим законом. Влияние стирок на изменение линейных размеров исследуемых материалов по утку минимально – усадка не превышает 1 %. Все исследуемые образцы экокож имели наибольшую усадку в направлении основы 0,6–5,2 %.

По результатам исследований составлены рекомендации по режиму стирки экокож с полиуретановым покрытием. Рекомендуется стирка в стиральных машинах барабанного типа при температуре 40 °С 30–60 минут. В качестве моющего рекомендуется применять средство «Бонус» производства ОАО «БЗПИ». Рекомендуется ручной отжим без скручиваний, сушка на ровной поверхности, без попадания прямых солнечных лучей.

Ключевые слова: устойчивость окраски; стирка; полиуретановая композиция; экокожа; воздухопроницаемость; усадка; стойкость к истиранию.

Информация о статье: поступила 19 июня 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

INFLUENCE OF REPEATED WASHING ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ECOLEATHER

Yulia I. Maruschak, Natallia N. Yasinskaya

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

ABSTRACT

Exposure to washing and other external factors induces aging in textile materials, adversely affecting their physical and mechanical properties and consequently reducing their lifespan. The study reflects the results of

investigation into the impact of repeated washing on the physical and mechanical properties of eco-leather with a polyurethane coating. The samples underwent 5, 10 and 15 wash cycles in a drum-type washing machine using the "Bonus" detergent for delicate fabrics, produced by the Belarusian manufacturer "BZPI", for 30 minutes at a temperature of 40 °C. Following each wash, the samples were rinsed for 5 minutes, hand-wrung without twisting, and dried. Upon completion of each washing and drying cycle, the elemental samples were stored in standard climatic conditions in a straightened form. The research findings confirmed that the coloring of Belarusian eco-leather is resistant to washing. During the washing process, the material is affected by a combination of physical, mechanical and chemical factors, resulting in the compaction of the structure of the woven base due to fiber swelling. This entails shrinkage of the material and, consequently, a gradual decrease in air permeability and abrasion. The dependence of the breathability of eco-leather on the number of washes is described with a high degree of approximation reliability by a logarithmic law. The influence of washing on the alteration in the linear dimensions of the materials under study is minimal – shrinkage does not exceed 1 %. All studied eco-leather samples exhibited the greatest shrinkage in the direction of the base, ranging from 0.6 to 5.2 %.

Based on the research outcomes, recommendations were formulated for the washing regime of eco-leather with a polyurethane coating. It is advised to wash in drum-type washing machines at a temperature of 40 °C for 30–60 minutes. It is recommended to use the "Bonus" product, produced by "BZPI" Company, as a detergent. Hand-squeezing without twisting, followed by drying on a flat surface away from direct sunlight, is also recommended.

Keywords: color fastness; washable; polyurethane composition; eco leather; air permeability; shrinkage; abrasion resistance.

Article info: received June 19, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных задач текстильной промышленности является сохранение качества выпускаемых изделий, зависящее от многих факторов (условия хранения, эксплуатации, уход за изделием, физико-механические воздействия и т. д.). На сегодняшний день текстильные полотна с полимерным покрытием широко используются в различных областях. Текстильные полотна с полиуретановым микропористым покрытием получили название «экокожа», поскольку они при более экологичном процессе производства сравнимы с натуральной кожей по важнейшим для потребителя показателям. Экокожа – это особый вид материала, получаемый при нанесении вспененной полиуретановой композиции на хлопчатобумажную или хлопкополиэфирную основу [1].

В процессе эксплуатации текстильные материалы и изделия из них подвергаются различного рода загрязнениям, для устранения которых используется процесс стирок. При воздействии стирок материал подвергается комплексному воздействию физико-механических и химических факторов, что приводит к старению материала, которое негативно отражается на

физико-механических свойствах и приводит к уменьшению срока эксплуатации изделия [2, 3]. Соблюдение специальных рекомендаций по стирке, чистке и сушке позволит сохранять свойства текстильных материалов.

Изучаемая экокожа применяется в качестве материала одежного назначения (юбки, платья, брюки), а соответственно, подвергается стиркам и чисткам в процессе эксплуатации изделия. Актуальным является изучение влияния стирок на физико-механические свойства материала и подбор оптимального режима ухода. Цель исследования – разработать рекомендации по уходу за экокожами белорусского производства, позволяющие сохранить высокий уровень физико-механических свойств и внешний вид материала.

На кафедре «Экология и химические технологии» УО «Витебский государственный технологический университет» проведены исследования влияния стирок на окраску, стойкость к истиранию лицевого покрытия, воздухопроницаемость и линейные размеры текстильных материалов, содержащих полиуретановый слой (экокожа).

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В качестве объектов исследования подготовлены образцы тканей с полиуретановым покрытием (экокожа) различной толщины, полученные в производственных условиях ОАО «Барановичское производственное хлопчатобумажное объединение». Исследуемые образцы представляют собой композиты, образованные сочетанием двух слоев. В качестве основы использовали хлопчатобумажное полотно. Для полимерного покрытия использовали препараты текстильной химии фирмы СНТ (Германия).

Нанесение покрытия осуществлялось в два этапа: основное и финишное. Компоненты композиции вводились по порядку, согласно очередности, указанной в рецептуре. В качестве первого слоя использовали текстильно-вспомогательное вещество tubicoat KLS ECO – соединение стабильной пены для образования эффекта искусственной кожи на основе полиуретана (анионное, pH 8–9). Перед нанесением финишного слоя на химической станции отделочного цеха подготовлена композиция из текстильно-вспомогательных веществ tubicoat KL-TOP F (вязкость 20–30 dPas) и tubicoat FIX H26 (pH 5–6) [4]. Композиция применяется как верхний слой и служит для улучшения гладкости поверхности и достижения сухого грифа.

Нанесение полиуретанового покрытия осуществляется ракельным способом (рисунок 1), который основан на удалении с поверхности ткани избытка полимерной массы при помощи

ракеля (ножа).

Для исследования влияния многократных мокрых обработок на физико-механические свойства экокож использовали методику стирки по ГОСТ ISO 6330-2011 «Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний», с соблюдением требований производителей одежды из подобных материалов [5, 6].

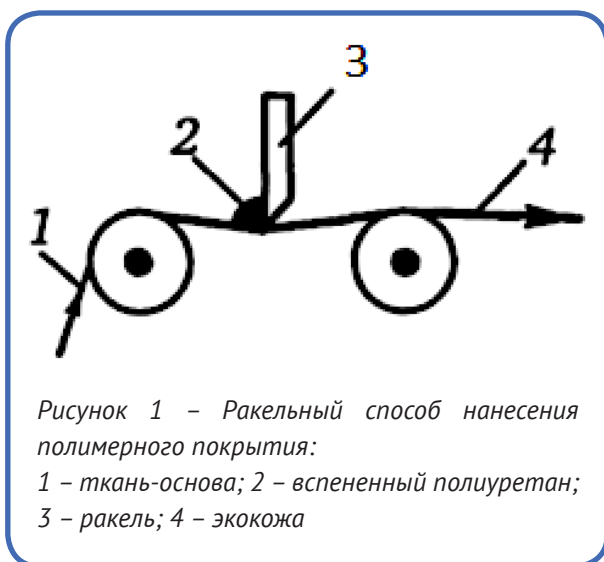
Образцы подвергались 5, 10 и 15 стиркам в стиральной машине барабанного типа с использованием моющего средства «Бонус» [7] для деликатных тканей белорусского производителя ОАО «БЗПИ» по 30 минут при температуре 40 °С, так как не рекомендуется применять хлорсодержащие порошки для подобных материалов. После каждой стирки образцы подвергались полосканию 5 минут и отжиму вручную без скручивания и сушке. После завершения каждой стирки и сушки элементарные пробы выдерживали в стандартных климатических условиях в расправленном виде. Определение физико-механических свойств проводилось не ранее чем через 24 часа после стирки [6].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

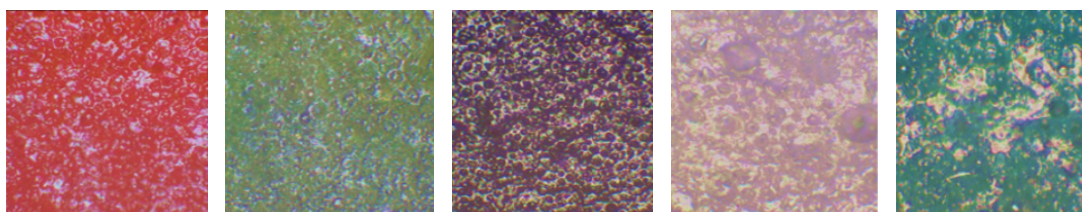
Для измерения толщины полимерного слоя экокожи и исследования поперечного среза образцов проведена микроскопия в отраженном свете с помощью исследовательского микроскопа Альтами МЕТ 5Т. Данные оптической микроскопии представлены на рисунке 2.

На поверхности материалов видны микропоры, равномерно распределенные. Толщину полимерного слоя определяли как среднее арифметическое длин не менее 10 поперечных линий, проведенных от верхней кромки полимера до текстильной основы с одинаковым шагом. Измерения проводили поперек каждой нити основы. Определяли среднее значение [7].

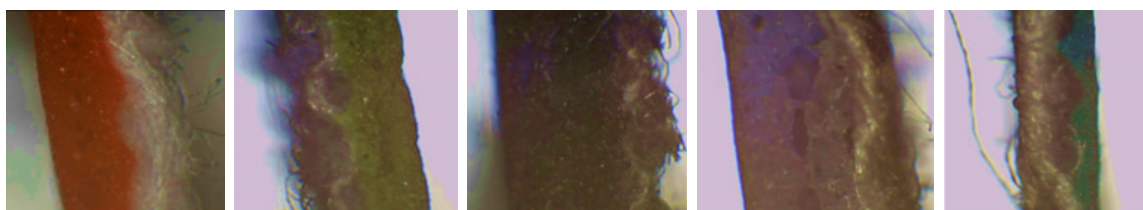
Воздействие стирок на физико-механические свойства экокож определяли в соответствии со стандартными методами: устойчивость окраски к стирке – по ГОСТ 9733.4, воздухопроницаемость – по ГОСТ 12088-77, изменение линейных размеров после стирки – по ГОСТ 30157.0-95. Большая доля механического износа приходится на истирание [9, 10]. Стойкость к истиранию проверяли на приборе ДИТ-М, имеющем две



Поверхность экокож



Поперечный срез экокож



Образец
«Розовый»

Образец
«Салатовый»

Образец
«Черный»

Образец
«Голубой»

Образец
«Зеленый»

Рисунок 2 – Данные оптической микроскопии

головки и сменные пальцы. В качестве абразива использовали серошинельное сукно диаметром 25 мм. Испытание проводили при удельном давлении абразива на ткань, равном 1 МПа (1 кгс/см²). Испытывали экокожи при скорости вращения головки прибора 100 об/мин. За результат измерения принимали число циклов вращения головки прибора, при котором произошло видимое невооруженным глазом разрушение полимерного покрытия испытуемой пробы.

Результаты экспериментальных исследований представлены в таблице 1.

На рисунке 3 представлена зависимость воздухопроницаемости экокож с полиуретановым покрытием от количества стирок.

Анализируя графики, представленные на рисунке 3, можно сделать вывод, что с увеличением числа стирок воздухопроницаемость у всех образцов экокож последовательно снижается. Уменьшение величины воздухопроницаемости после пяти стирок составляет в среднем от 7,3 % до 46,7 %. После 10 стирок уменьшение данного показателя находится в пределах от 6,1 % до 21,8 %, а после 15 стирок она умень-

шается от 0,7 % до 18 %. Наиболее интенсивное уменьшение показателя воздухопроницаемости в процессе эксплуатации происходит на материалах до пяти стирок.

Модель зависимости воздухопроницаемости от количества стирок для образца № 1:

$$y = -4,323\ln(x) + 34,894 \quad (R^2 = 0,957) . \quad (1)$$

Модель зависимости воздухопроницаемости от количества стирок для образца № 2:

$$y = -5,624\ln(x) + 22,264 \quad (R^2 = 0,9914) . \quad (2)$$

Модель зависимости воздухопроницаемости от количества стирок для образца № 3:

$$y = -4,24\ln(x) + 14,807 \quad (R^2 = 0,9669) . \quad (3)$$

Модель зависимости воздухопроницаемости от количества стирок для образца № 4:

$$y = -3,002\ln(x) + 23,584 \quad (R^2 = 0,9433) . \quad (4)$$

Модель зависимости воздухопроницаемости от количества стирок для образца № 5:

$$y = -3,809\ln(x) + 20,738 \quad (R^2 = 0,9756) . \quad (5)$$

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Образец	Толщина PU покрытия, мкм	Количество стирок	Усадка по основе, %	Усадка по утку, %	Устойчивость окраски к стиркам, баллы
Розовый № 1	477	5	4,8	0,6	5
		10	0,4	0	5
		15	0	0	5
Салатовый № 2	416	5	3,7	0,7	5
		10	0,4	0	5
		15	0	0	5
Черный № 3	879	5	5	0,4	5
		10	0,4	0	5
		15	0	0	5
Голубой № 4	660	5	0,6	0,4	5
		10	0	0	5
		15	0	0	5
Зеленый № 5	138	5	5,2	0	5
		10	0	0	5
		15	0	0	5

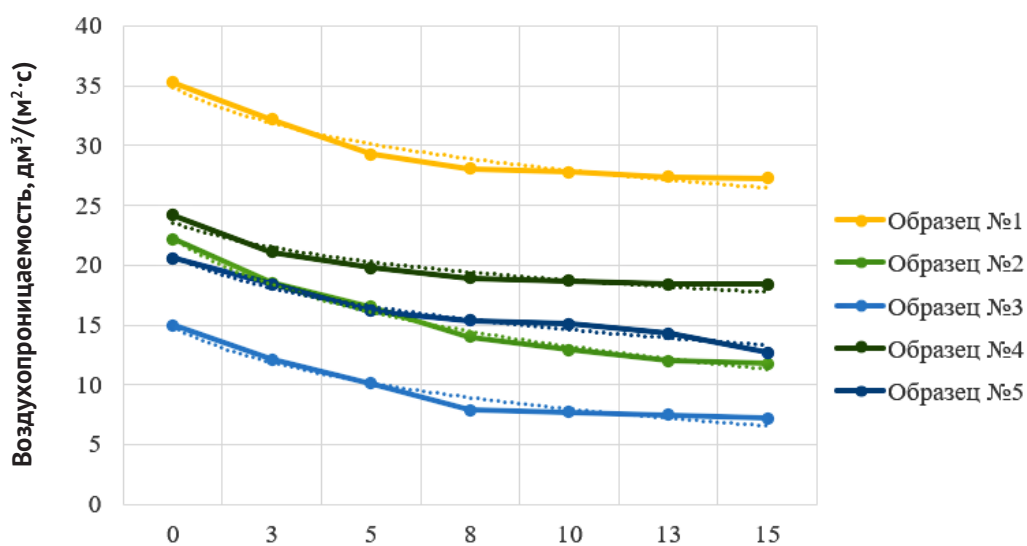


Рисунок 3 – Зависимость воздухопроницаемости от количества стирок

Зависимость воздухопроницаемости эконожа от количества стирок с высокой степенью достоверности аппроксимации описывается логарифмическим законом.

На рисунке 4 представлены диаграммы зависимости стойкости к истиранию лицевого полимерного покрытия эконожа от количества стирок.

После многократных стирок стойкость полимерного покрытия к истиранию уменьшается для всех образцов незначительно. Стойкость эконожа с полиуретановым покрытием к истиранию после многократных стирок снижается в целом на 5,1–20 %. Зависимость стойкости к истиранию лицевого полиуретанового покрытия эконожа от количества стирок с высокой степенью достоверности аппроксимации описывается линейным законом.

Влияние стирок на изменение линейных размеров исследуемых материалов по утку минимально – усадка не превышает 0,7 %. Все исследуемые образцы эконожа имели наибольшую усадку в направлении основы (не более 5,5 %). После 5 стирок наблюдалось наибольшее изменение линейных размеров. Наибольшую

усадку (5,2 % по основе) имел образец № 5 (таблица 1) с наименьшей толщиной полиуретанового покрытия (138 мкм).

В процессе стирок материал подвергается комплексному воздействию физико-механических и химических факторов, что приводит к уплотнению структуры тканой основы в результате набухания волокон, что влечёт за собой усадку материала и, как следствие, постепенное снижение воздухопроницаемости и истираемости, а также способствует износу полимерного покрытия.

Оценку устойчивости окраски испытуемой рабочей пробы по изменению первоначальной окраски и закрашиванию смежных тканей проводили в соответствии с ГОСТ 9733.0-83. Оценку проводили визуальным сравнением контраста между пробами до и после испытания с контрастами серых эталонов. У образцов окраска не изменила оттенка, контраст ее с первоначальной окраской соответствует контрасту эталона 5-го балла серой шкалы для оценки изменения окраски даже после 15-й стирки.

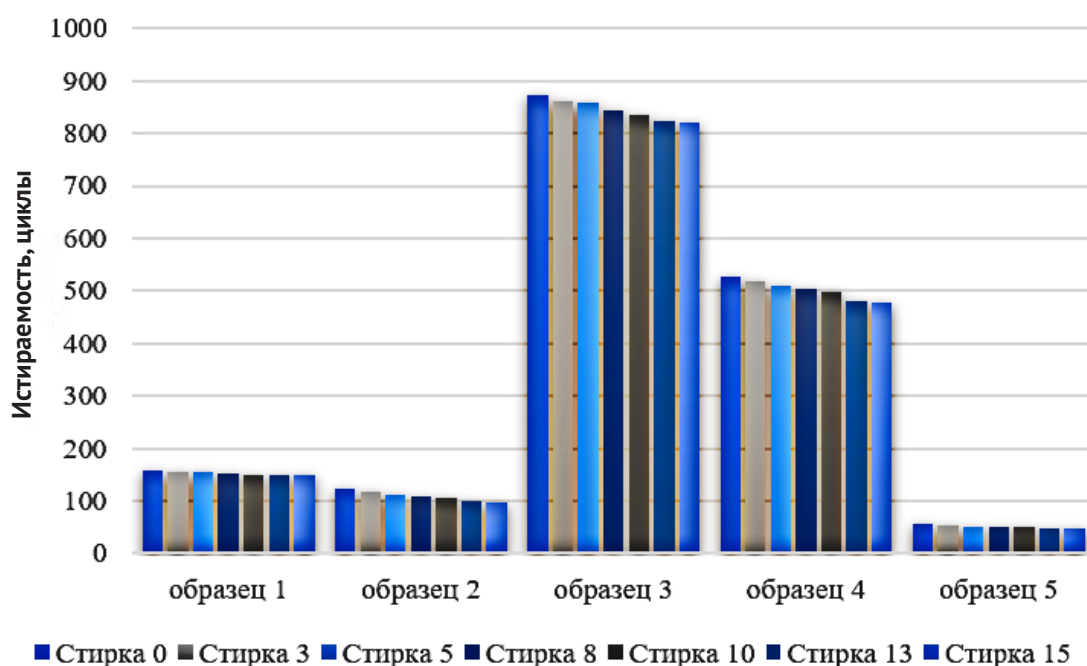


Рисунок 4 – Зависимость стойкости к истиранию от количества стирок

По результатам исследований составлены рекомендации по режиму стирки эकोкож (таблица 2).

Абразивы и средства с содержанием хлора нельзя использовать для чистки такого материала.

ВЫВОДЫ

В результате многократных стирок у эकोкож с микропористым полиуретановым покрытием наблюдается уменьшение их воздухопроницаемости и стойкости к истиранию лицевого покрытия. Уменьшение величины воздухопроницаемости после пяти стирок составляет в среднем от 7,3 % до 46,7 %. После 10 стирок уменьшение данного показателя находится в пределах от 6,1 % до 21,8 %, а после 15 стирок она уменьшается от 0,7 % до 18 %. Наиболее интенсивное уменьшение показателя воздухопроницаемости

в процессе эксплуатации происходит на материалах до пяти стирок. Зависимость воздухопроницаемости эकोкож от количества стирок с высокой степенью достоверности аппроксимации описывается логарифмическим законом, а стойкости к истиранию – линейным. Стойкость эकोкож с полиуретановым покрытием к истиранию после многократных стирок снижается в целом на 5,1–20 %. Влияние стирок на изменение линейных размеров исследуемых материалов по утку минимально – усадка не превышает 0,7 %. Все исследуемые образцы эकोкож имели наибольшую усадку в направлении основы (не более 5,5 %). По результатам экспериментальных исследований установлено, что окраска эकोкож белорусского производства устойчива к действию стирок. Выработаны рекомендации по режиму стирки эकोкож белорусского производства.

Таблица 2 – Рекомендации по режиму стирки эकोкож

Режим стирки	Нормируемое значение
Вид стирки	В стиральных машинах барабанного типа
Температура	40 °C
Время	30–60 минут
Чистящие средства	Моющее средство «Бонус» производства ОАО «БЗПИ» Оптимально применять мягкие гели для стирки
Отжим	Вручную, без скручиваний
Сушка	На ровной поверхности желательно без попадания прямых солнечных лучей

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бекашева, А. С. (2015), Характеристики и свойства эकोкожи – материала, имитирующего натуральную кожу, *Вестник Казанского технологического университета*, 2015, № 16, С. 134–136.
2. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2022), Исследование влияния температуры сушки на качество «экокожи», *Материалы Международной научно-практической конференции Лёгкая промышленность: проблемы и перспективы*, Омск, 2022, С. 52–57.
3. Вишневская, О. В. (2016), Восстановление свойств текстильных материалов с покрытием после многократных стирок, *Вестник технологического университета*, 2016, № 19, С. 101–103.
4. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Петюль, И. А. (2023), Разработка номенклатуры показателей качества и оценка свойств эकोкож, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, № 2 (404), Иваново, 2023, С. 103–111.

5. Панкевич, Д. К., Лобацкая, Е. М., Дорошенко, Е. М. (2015), Исследование влияния стирок на свойства мембранных материалов, *Материалы Международной научно-технической конференции Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности «Инновации – 2015»*, Москва, 2015, С. 31–34.
6. ГОСТ ISO 6330-2011. *Материалы текстильные. Методы домашней стирки и сушки для испытаний*, Введ. 2012-07-01, Стандартиформ, Москва, 2013, 19 с.
7. СТБ 1669-2006. *Средства моющие синтетические. Общие технические условия*, Введ. 2007-01-01, Госстандарт, Минск, 2007, 6 с.
8. Панкевич, Д. К., Кукушкин, М. Л. (2017), Влияние многоцикловых механических нагрузок на структуру водозащитных материалов с полиэфируретановой мембраной, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2017, № 1 (32), С. 99–108.
9. Бузов, Б. А., Румянцева, Г. П. (2012), *Материалы для одежды. Ткани*. – М.: ФОРУМ, ИНФРА-М, 2012. – 224 с.
10. Вишневецкая, О. В. (2016), Современные методы нанесения покрытия на текстиль, *Вестник технологического университета*, 2016, № 18, С. 69–72.

REFERENCES

1. 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 Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2015, № 16, pp. 134–136.
2. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2022), Study of the effect of drying temperature on the quality of "eco-leather" [Issledovanie vliyaniya temperatury sushki na kachestvo «ekokozhi»], *Materials of the International Scientific and Practical Conference Light Industry: Problems and Prospects*, Omsk, 2022, pp. 52–57.
3. Vishnevskaya, O. V. (2016), Restoring the properties of coated textile materials after repeated washings [Vosstanovlenie svojstv tekstil'nyh materialov s pokrytiem posle mnogokratnyh stirok], *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2016, № 19, pp. 101–103.
4. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Petyul, I. A. (2023), Development of a nomenclature of quality indicators and assessment of the properties of eco-leathers [Razrabotka nomenklatury pokazatelej kachestva i ocenka svojstv ekokozh], *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija tekstil'noj promyshlennosti – Proceedings of higher educational institutions. Textile technology*, № 2 (404), Ivanovo, 2023, pp. 103–111.
5. Pankevich, D. K., Lobatskaya, E. M., Doroshenko, E. M. (2015) Study of the influence of washing on the properties of membrane materials [Issledovanie vliyaniya stirok na svojstva membrannyh materialov], *Materials of the International Scientific and Technical Conference Design, Technologies and Innovations in the Textile and Light Industry "Innovations – 2015"*, Moscow, 2015, pp. 31–34.
6. GOST ISO 6330-2011. *Textile materials. Home washing and drying methods for testing*, Vved. 2012-07-01, Standardinform, Moscow, 2013, 19 p.
7. STB 1669-2006. *Synthetic detergents. General technical conditions*, Vved. 2007-01-01, Gosstandart, Minsk, 2007, 6 p.
8. Pankevich, D. K., Kukushkin, M. L. (2017), The influence of high-cycle mechanical loads on the structure of waterproof materials with a polyetherurethane membrane [Vliyanie mnogociklovyyh mekhanicheskikh nagruzok na strukturu vodozashchitnyh materialov s poliefiruretanovoj membranoj], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*, 2017, № 1 (32), pp. 99–108.
9. Buzov, B. A., Rumyantseva, G. P. (2012), *Materials for clothing Fabrics* [Materialy dlya odezhdy. Tkani]. – М.: FORUM, INFRA-M, 2012. – 224 p.

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

Информация об авторах

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

Information about the authors

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

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДВУХСЛОЙНЫХ ТКАНЕЙ ДЛЯ ЭКРАНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

О.А. Дубровская^{1,2}, Д.Б. Рыклин¹, С.Э. Саванович³, В.В. Зайцев¹

¹Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

²Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Республика Беларусь

³Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Потребность в защите людей и чувствительных электронных и электротехнических приборов от вредного влияния электромагнитных излучений (ЭМИ) является актуальной проблемой для различных секторов общества, включая медицинское оборудование, авиацию, телекоммуникации, электронику, электротехнику. Недостаточная защита от ЭМИ может иметь серьезные последствия для безопасности, надежности и эффективности работы различных отраслей и секторов экономики. Цель работы – оценка эффективности использования двухслойных тканей для экранирования ЭМИ в диапазоне от 2 до 17 ГГц. Экспериментально установлено, что применение двухслойных пакетов экранирующих тканей эффективно только при относительно небольшом содержании стальных волокон. При существенном увеличении массы стальных волокон в ткани за счет более плотного расположения содержащих их нитей сложение слоев существенно не влияет на способность отражать ЭМИ. Показано, что при увеличении массы стали до 18 г/м² ткани эффект от сложения слоев полностью исчезает. Вероятной причиной данного эффекта является существенное повышение влияния многократного переотражения электромагнитных волн в пакетах, сформированных из таких тканей. Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для обеспечения наилучшей эффективной защиты в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

Ключевые слова: электромагнитное излучение; двухслойные ткани; антистатическая нить; стальное волокно; коэффициент отражения; коэффициент передачи; эффективность экранирования.

Информация о статье: поступила 14 ноября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF TWO-LAYER FABRICS FOR ELECTROMAGNETIC SHIELDING

Volha A. Dubrouskaya^{1,2}, Dzmitry B. Ryklin¹, Svyatlana E. Savanovich³, Uladzislau U. Zaitsau¹

¹Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

²Vitebsk State Medical University, Republic of Belarus

³Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

ABSTRACT

The need to protect people and sensitive electronic and electrical devices from the detrimental effects of electromagnetic radiation (EMR) is a pressing issue across various sectors, including medical equipment, aviation, telecommunications, electronics, and electrical engineering. Insufficient EMI protection can pose serious risks to the safety, reliability and operational efficiency of various industries and economic sectors. The study aims to assess the efficacy of applying two-layer fabrics for EMR shielding with the frequency range from 2 to 17 GHz. The findings suggest that the use of two-layer packages of shielding fabrics is effective only when the steel fiber content is relatively low. As the mass of steel fibers in the fabric significantly increases, due to a denser arrangement of the yarns containing them, the addition of layers does not considerably affect the ability to reflect EMR. Experimental results indicate that as the steel mass increases to 18 g/m² of fabric, the effect of adding layers

entirely diminishes. The most plausible explanation for this effect is a substantial increase in the influence of multiple re-reflection of electromagnetic waves in packages formed from such fabrics.

The obtained results will contribute to the development of shielding fabrics and packages based on them, aiming to provide optimal protection within specified frequency ranges, taking while considering the specific operational requirements.

Keywords: *electromagnetic radiation; double-layer fabrics; anti-static yarn; steel fiber; reflection coefficient; transmission coefficient; shielding efficiency.*

Article info: *received November 14, 2023.*

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

Расширение электронной промышленности и широкое использование электронного оборудования в мобильной связи, автоматизации, биомедицине, космосе и других отраслях выдвигают в число приоритетных проблемы, как электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронного оборудования (РЭА), так и защиты биологических объектов от повышенных уровней электромагнитного излучения (ЭМИ), генерируемого аппаратурой.

Электромагнитное излучение, формируемое РЭА, имеет две составляющие – электрическую и магнитную, в связи с этим практически невозможно подобрать материал с высокой магнитной проницаемостью и удельной проводимостью [1].

Металлы являются лучшими материалами для экранирования ЭМИ из-за их проводимости и проницаемости, но существует ряд недостатков, таких как значительная масса изделия, высокая стоимость, возможность теплового расширения и окисления металла или проблемы с коррозией, связанные с его использованием. Альтернативой металлическим защитным экранам являются ткани, в структуру которых введены электропроводящие компоненты. Основными преимуществами использования экранирующих тканей в сравнении с металлическими листами являются меньший расход металлов, гибкость текстильных полотен, воздухопроницаемость, лёгкость экрана, простота монтажа.

Наибольший интерес для Республики Беларусь представляет использование в составе тканей пряжи с вложением штапельных волокон из нержавеющей стали. Специалисты компании Bekaert, производящей стальные волокна под торговой маркой Bekinox, отмечают, что такие ткани используют для изготовления спецодежды и различных средств, защищающих от тер-

мических воздействий и агрессивных сред, они защищают от электромагнитных помех в диапазоне частот от 300 до 10 ГГц при коэффициенте экранирования до 60 дБ [2]. Стальные волокна почти не уступают высокоэффективным альтернативам, таким как серебро и медь. Эти металлы утрачивают практически все защитные свойства всего за несколько машинных стирок, а сталь выдерживает многократные машинные стирки.

В литературе описывается несколько основных конструктивных вариантов исполнения электромагнитных экранов: сетчатый, однослойный сплошной, многослойный [1].

Действие сетчатого и однослойного сплошного экрана основано на возбуждении вихревых токов на поверхности материала. В сетчатых экранах при попадании ЭМ волны на отверстия в металлической сетке, часть энергии отражается обратно в пространство, а остальная часть проникает сквозь сетку или поглощается материалом сетки.

Однослойные сплошные экраны, в отличие от сетчатых, представляют собой непрерывный слой металла. Эти экраны обеспечивают более эффективное поглощение электромагнитных волн. Металлический слой способен поглощать энергию излучения и преобразовывать ее в тепло. Поглощение происходит из-за потерь энергии в результате электромагнитных вихрей, возникающих в металле.

В многослойном электромагнитном текстильном экране, состоящем как минимум из двух слоёв, с добавлением второго слоя в структуру возникают три защитных механизма. В первом механизме волны, проходящие через первый слой, поглощаются вторым слоем. Во втором механизме часть волн, отраженных от второго слоя, поглощается первым слоем. В третьем механиз-

между первым и вторым слоями происходят повторяющиеся отражения, и эти волны в основном поглощаются и преобразуются в тепло. Эти три механизма поддерживают поглощение и играют важную роль на высоких частотах. Помимо упомянутых механизмов, когда волны, отражающиеся от первого и второго слоев, располагаются в противоположном друг другу направлении, возникает деструктивная интерференция, создающая волну, более слабую, чем любая из них [3].

В процессе создания защитных экранов от ЭМИ необходимо учитывать, что эффективность их работы связана с явлениями поглощения и отражения электромагнитной энергии, при этом часть энергии электромагнитной волны затухает в толще материала (рисунок 1).

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных устройств важно, чтобы большая часть энергии ЭМИ поглощалась, а не переотражалась на соседние устройства или в окружающее пространство [4].

Одним из путей повышения эффективности экранирования является разработка многослойных экранов. В литературе отмечается, что эффективность двухстенного сплошного экрана не равна произведению эффективностей двух одностенных экранов. Поток электромагнитной энергии, проникший сквозь первую стенку, претерпевает бесконечный ряд отражений в пространстве между стенками. В результате сквозь вторую стенку проникает значительно большая часть этого потока, чем в том случае, когда после первого же отражения поток энергии более не возвращается к этой стенке [5].

Расчеты и практика показывают, что по конструктивным и экономическим соображениям не имеет смысла делать экраны из листового материала двухстенными; лучше добиться нужного увеличения эффективности путем соответствующего утолщения стенки.

В некоторых случаях по конструктивным соображениям удобно делать экран не из сплош-

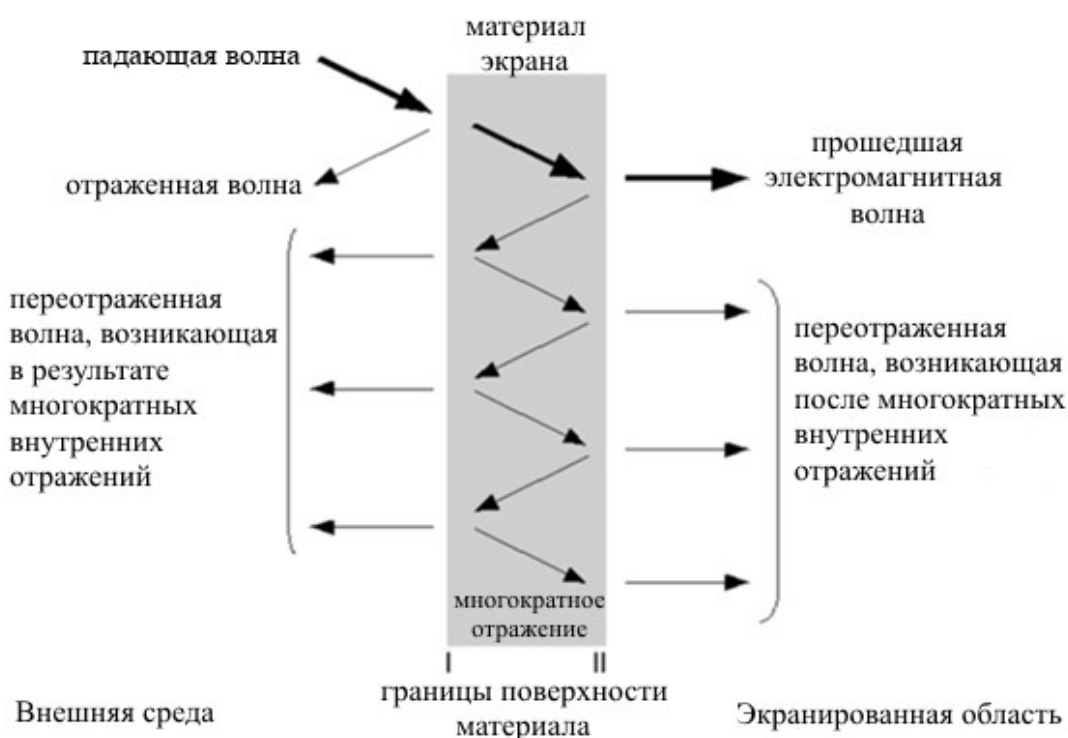


Рисунок 1 – Принципиальная схема прохождения электромагнитных волн в многослойном экране

го листового материала, а из металлической сетки [5]. Защитные экраны из металлической сетки могут быть достаточно эффективными в защите от электромагнитных излучений. Однако эффективность таких экранов может зависеть от различных факторов, таких как размер ячейки сетки, толщина и материал металлической нити, а также соотношение размеров ячеек в сетке к длине волны ЭМИ, от которого требуется защита. Металлическая сетка является проводником и может отражать или поглощать электромагнитные волны, предотвращая их проникновение через экран. Однако, если размер ячейки сетки слишком большой или длина волны излучения слишком мала, это может привести к проникновению некоторой части энергии через экран и экранирование будет менее эффективным.

Для достижения максимальной эффективности защиты от электромагнитных излучений рекомендуется использовать сетки с маленькими размерами ячейки, металлическими нитями большего диаметра с хорошей проводимостью.

Важно отметить, что защитные экраны из металлической сетки не являются идеальными экранирующими материалами, и не могут полностью устранить электромагнитные излучения. Кроме того, излучение может проходить через отверстия в экране или отражаться от других поверхностей, поэтому возможно потребуются сочетание нескольких экранирующих материалов и методов, чтобы достичь оптимальной эффективности защиты.

Общая эффективность защитных экранов из металлической сетки может быть высокой, особенно при правильном выборе материала и конструкции экрана, а также оптимальной геометрии ячеек сетки относительно длины волны излучения. Однако, перед выбором защитного экрана, следует провести анализ требуемых параметров и учесть различные факторы, такие как тип излучения, его частота, мощность и конкретные требования защиты.

В связи с этим был проведен ряд исследований опытных образцов тканей с переплетением саржа 2/2, изготовленных из хлопчатобумажной пряжи линейной плотности 25 текс $\times$ 2 и пряжи 20 текс $\times$ 2, содержащей 90 % полиэфирных волокон и 10 % стальных волокон Bekinox, отличающихся размером решетки из антистатических

нитей, а также многослойных пакетов из этих тканей. Опытные образцы имели разный размер решетки, следовательно, они отличались и разным содержанием металла – 0,8 г/м² и 1,6 г/м² соответственно.

При анализе результатов испытаний экранирующих тканей установлено, что в диапазоне частот от 0,7 ГГц до 1,5 ГГц образцы, сложенные в 2 слоя, характеризуются приблизительно одинаковой эффективностью экранирования, составляющей в среднем по модулю 25 дБ. С увеличением частоты ЭМИ различия в эффективности экранирования становятся заметны. При сравнении двухслойных пакетов выявлено, что для двухслойного пакета образца с содержанием стальных волокон 1,6 г/м² эффективность экранирования выше в среднем на 6 дБ в диапазоне от 1,5 до 16 ГГц по сравнению с пакетом из тканей с содержанием стальных волокон 0,8 г/м². Сопоставляя частотные зависимости эффективности экранирования опытных образцов и их двухслойных пакетов, можно отметить, что сложение тканей в 2 слоя повысило эффективность пакетов в диапазоне от 1 до 17 ГГц в среднем на 5–7 дБ [6].

Однако при использовании двухслойных пакетов тканей возникает ряд трудностей: повышается масса экрана, материалоемкость, и в процессе производства возникают затраты, связанные с соединением слоёв. В связи с этим было принято решение о проведении исследований, направленных на оценку эффективности использования двухслойных тканей для экранирования электромагнитного излучения.

Для решения поставленной задачи были разработаны опытные двухслойные экранирующие ткани на базе переплетения саржа 2/3. Для выработки экранирующих образцов использована хлопчатобумажная пряжа линейной плотности 50 текс и в качестве антистатической нити – пряжа линейной плотности 20 текс $\times$ 2, содержащая 90 % полиэфирных волокон и 10 % стальных волокон Bekinox.

Для выработки данного образца экранирующей ткани применялись следующие виды нитей:

- для основы: каждая пятая нить основы верхнего и нижнего слоёв – пряжа (10 % стальное волокно Bekinox, 90 % полиэфирное волокно) линейной плотности 20 $\times$ 2 текс; остальные

нити основы – одиночная пряжа (100 % хлопковое волокно), линейной плотности 50 текс;

– для утка: в обоих слоях пряжа (10 % стальное волокно Bekinox, 90 % полиэфирное волокно) линейной плотности 20 × 2 текс.

Антистатические нити основы в слоях располагались со смещением, равным половине расстояния между ними в каждом из слоев.

Так как образец 2 отличался от образца 1 тем, что был полностью произведен из пряжи, содержащей 10 % волокон Bekinox, содержание стальных волокон в нем больше на 55 %, чем в образце 1.

В таблице 1 представлены основные характеристики текстильного опытного образца 1.

Оценка характеристик отражения и передачи ЭМИ изготовленных опытных образцов электромагнитных экранов выполнялась с использованием панорамного измерителя SNA 0,01–18 в соответствии с ГОСТ 20271.1-91 «Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров» в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (г. Минск). SNA 0,01–18 работает по принципу раздельного выделения и непосредственного детектирования уровней падающей и отражающей волн. Излучение и прием электромагнитных волн обеспечивался с помощью антенн П6 23М в диапазоне частот 2–17,0 ГГц.

С учетом полученных ранее результатов представляет интерес сравнительный анализ представленных образцов тканей и ткани, которая была исследована в статье [6]. Опытный образец 3 изготовлен по основе и по утку из хлопчатобумажной пряжи 25 текс × 2 и пряжи 20 текс × 2 (90 % ПЭ и 10 % Bekinox), переплетение сар-

жа 2/2, расстояние между электропроводящими нитями по основе и по утку – 5 мм, содержание стального волокна в ткани – 1,6 г/м².

Частотные зависимости коэффициентов отражения от частоты ЭМИ в диапазоне 2–17 ГГц представлены на рисунке 2. Отметить, что значения коэффициентов отражения тканей с различным содержанием стальных волокон не отличаются существенно друг от друга.

Зависимости коэффициентов передачи опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц представлены на рисунке 3.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 3, показывает, что образец 3 с меньшим содержанием стальных волокон имеет максимальные значения коэффициентов передачи. Образец 2 в частотном диапазоне 2–5 ГГц характеризуется минимальными значениями коэффициентов передачи, далее с увеличением частоты ЭМИ происходит увеличение показателей с достижением максимальных значений (около –19 дБ) на частотах 6–8 ГГц, после чего с увеличением частоты излучения рост показателей коэффициентов передачи замедляется и с 14 ГГц снова увеличивается.

Сравнивая образец 1 и 2 в частотном диапазоне 2–17 ГГц, можно наблюдать, что характер зависимостей коэффициентов передачи совпадает, а разница в показателях составляет примерно 14 дБ. Минимальными значениями коэффициента передачи во всем частотном диапазоне характеризуется образец 2. Данный результат являлся ожидаемым, так как образец 2 содержит максимальное количество стальных волокон, что позволяло прогнозировать более

Таблица 1 – Характеристики текстильного опытного образца 1

Наименование показателя	Образец 1		Образец 2	
	основа	уток	основа	уток
Поверхностная плотность, г/м ²	230		180	
Плотность нитей в ткани, нит./10 см	200	250	200	250
Расстояние между антистатическими нитями: в ткани, мм	2,5	0,4	0,5	0,4
	5,0	0,8	1,0	0,8
Содержание стального волокна в составе ткани, г/м ²	11,6		18,0	

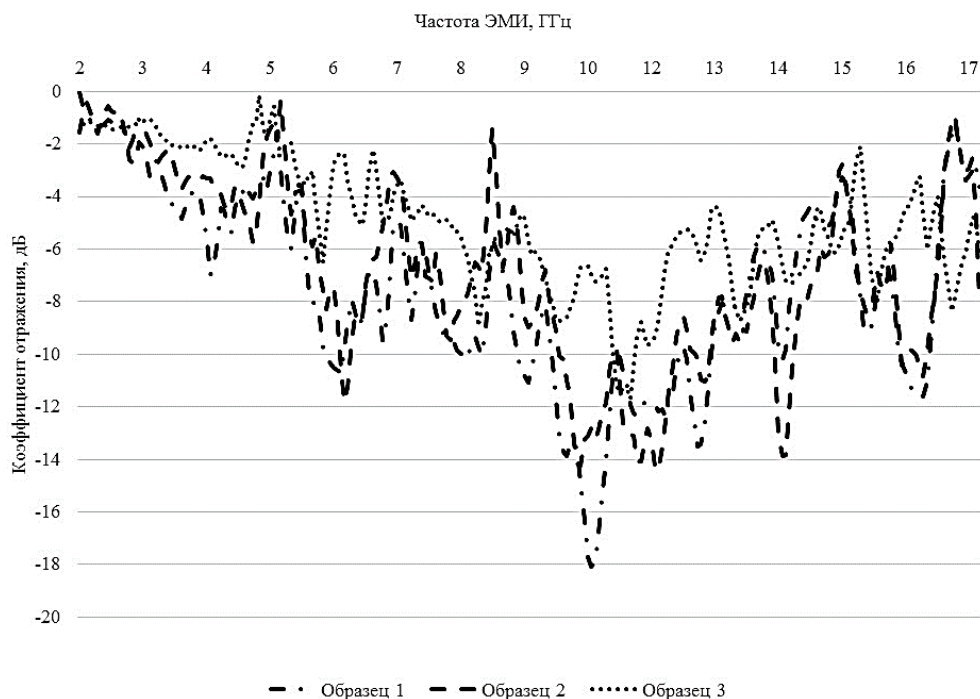


Рисунок 2 – Частотные зависимости коэффициентов отражения опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц

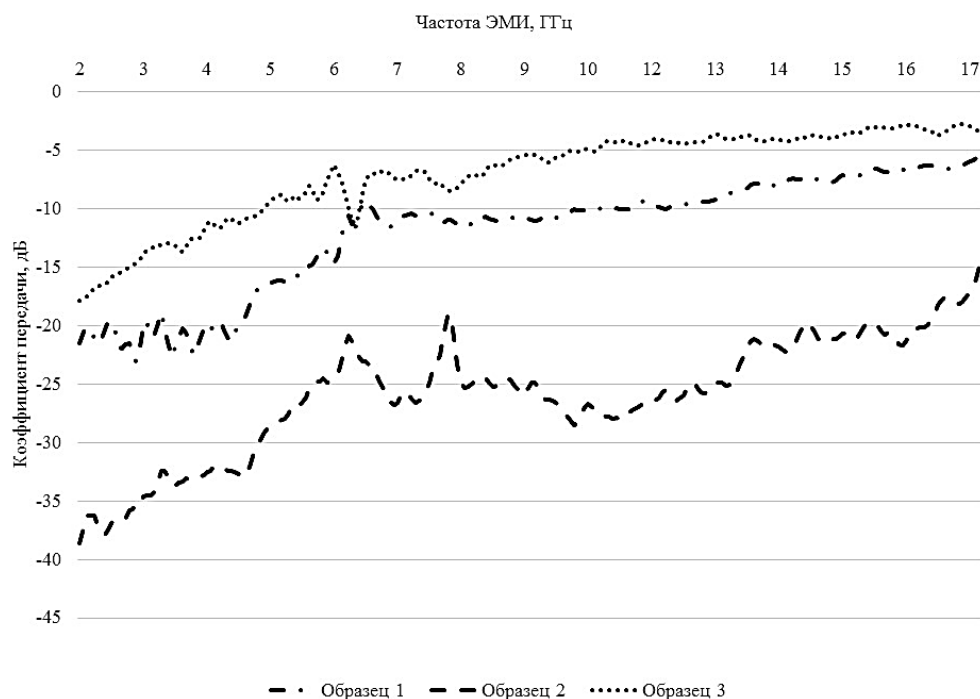


Рисунок 3 – Частотные зависимости коэффициентов передачи опытных образцов с различным содержанием стальных волокон в структуре ткани при частоте 2–17 ГГц

высокие показатели эффективности экранирования.

На следующем этапе исследований в качестве объекта исследований использовались двухслойные пакеты, сформированные из полученных опытных тканей, с целью оценки возможности управления экранирующим эффектом и определения перспективных возможностей создания многослойных текстильных экранов. В результате испытаний получены зависимости коэффициентов отражения и передачи ткани от частоты ЭМИ.

Анализировались частотные характеристики опытных образцов материалов в зависимости от количества слоев. Результаты измерения зависимости коэффициентов отражения от частоты ЭМИ в диапазоне 2–17 ГГц представлены на рисунке 4.

В целях обеспечения электромагнитной совместимости оборудования выбирают опытные

образцы с минимальными значениями коэффициентов отражения и минимальными значениями коэффициентов передачи ЭМИ, что соответствует максимальной степени экранирования [7, 8].

Сопоставляя частотные значения коэффициентов отражения всех опытных образцов, представленных на рисунке 4, в частотном диапазоне 2–17 ГГц можно отметить, что значения показателей существенно не различаются независимо от состава исследуемых тканей и количества их слоев.

Результаты измерения зависимости коэффициентов передачи от частоты ЭМИ 2–17 ГГц представлены на рисунке 5.

Анализ экспериментальных результатов, приведенных на рисунке 5, показывает, что коэффициенты передачи всех опытных образцов, кроме опытного образца 1, в частотном диапазоне ЭМИ 2–17 ГГц не имеют существенной разницы

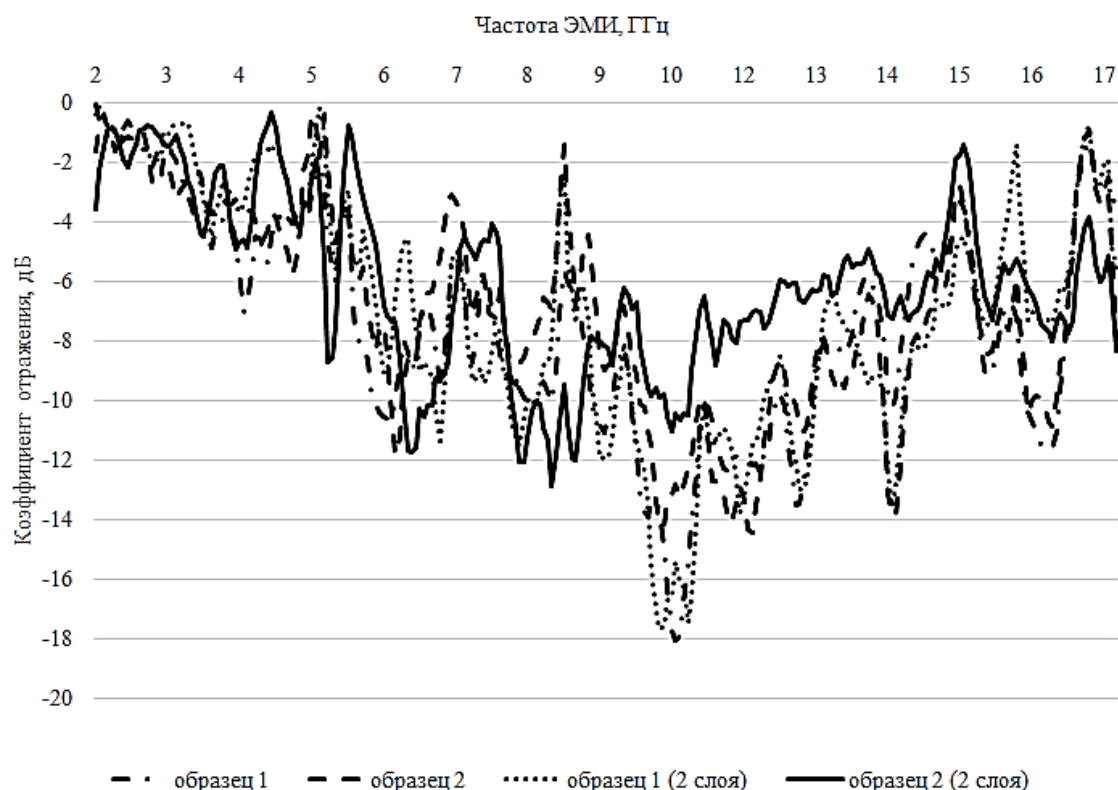


Рисунок 4 – Частотные зависимости коэффициентов отражения опытных образцов ткани от количества слоев при частоте 2–17 ГГц

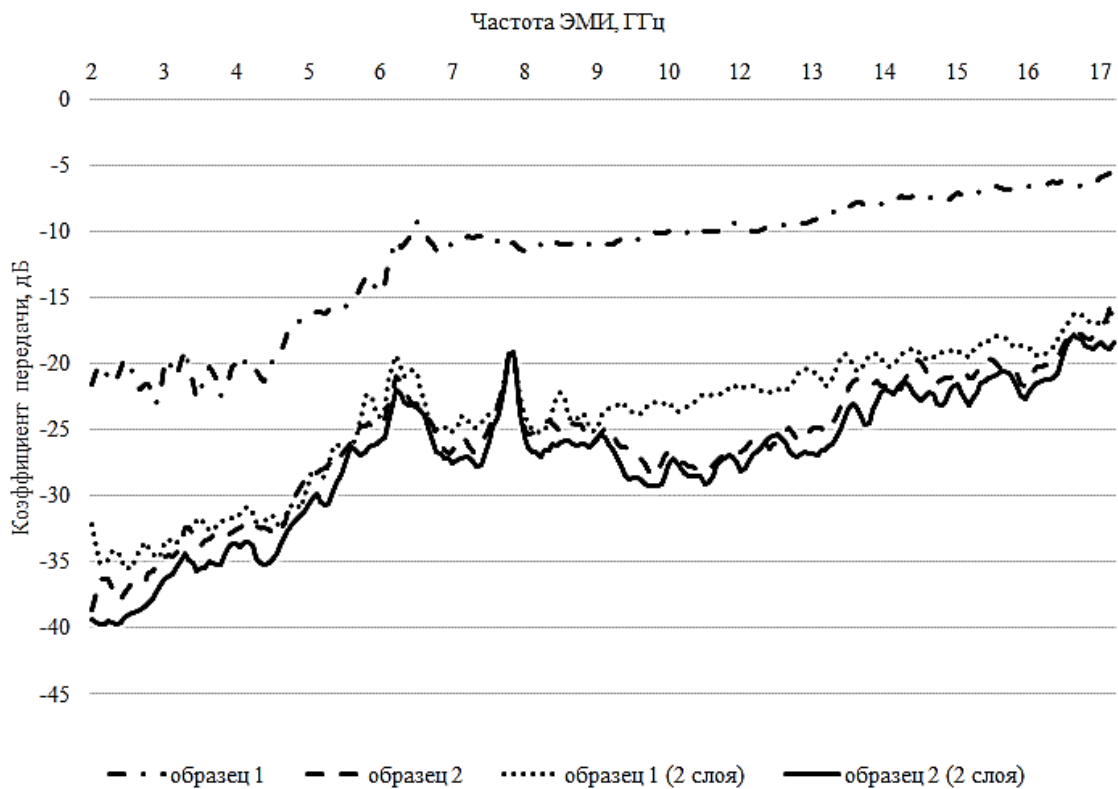


Рисунок 5 – Частотные зависимости коэффициентов передачи опытного образца ткани от количества слоев при частоте 2–17 ГГц

в значениях. Среднее значение коэффициентов передачи в частотном диапазоне 2–17 ГГц для опытных образцов составляет: образец 1 равно –11,9 дБ; образец 2 равно –25,9 дБ; образец 1 (2 слоя) равно –24 дБ, образец 2 (2 слоя) равно –27,2 дБ.

Образец 1 с меньшим содержанием стальных волокон характеризуется максимальными значениями коэффициента передачи. В частотном диапазоне 2–5 ГГц образец 2 имеет минимальные значения коэффициента передачи, которые в среднем составляют –34 дБ, в то время как для образца 1 среднее значение коэффициента передачи равно –20,5 дБ.

Можно обратить внимание на то, что сложение ткани 1 в два слоя привело к снижению коэффициента передачи в среднем на 12 дБ практически во всем исследованном частотном диапазоне ЭМИ, что является положительным результатом. Однако двухслойный пакет из тка-

ни образца 2 по коэффициенту передачи практически не отличался от образца исходной ткани, испытанной в один слой.

Анализируя зависимости, представленные на рисунке 5, можно отметить, что с учетом высокой стоимости стальных волокон и дополнительные затраты на формирование двухслойных экранов при выборе опытных образцов с минимальными значениями коэффициентов ослабления ЭМИ предпочтение можно отдать опытному образцу ткани 2. При этом формирование двухслойных пакетов из таких тканей нецелесообразно.

Таким образом, можно сделать следующий вывод. Применение двухслойных пакетов экранирующих тканей эффективно только при относительно небольшом содержании стальных волокон, как это было показано в статье [6], в которой в качестве оптимального варианта был выбран двухслойный пакет из тканей, содержание стальных волокон в которых составляло 1,6 г/м²

при размере решетки из антистатических нитей $0,5 \times 0,5$ см. При существенном увеличении массы стальных волокон в ткани за счет более плотного расположения содержащих их нитей сложение слоев перестает влиять на эффективность экранирования. Если при содержании стальных волокон $11,6 \text{ г/м}^2$ ткани коэффициент передачи двухслойного пакета снижается по сравнению с тканью, то при увеличении их массы до $18 \text{ г на } 1 \text{ м}^2$ ткани эффект от сложения слоев полностью

исчезает. Наиболее вероятной причиной данного эффекта является существенное повышение влияния многократного переотражения электромагнитных волн в пакетах, сформированных из таких тканей.

Полученные результаты будут использованы для разработки экранирующих тканей и пакетов на их основе для экранирования ЭМИ в заданных частотных диапазонах с учетом конкретных требований их эксплуатации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Самоквасова, Ю. Н., Ромащенко, М. А. (2012), Методика выбора конструкционных материалов для задач экранирования электронных средств, *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2012, Т. 8, № 5, С. 48–50.
2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 20 August 2023).
3. Özkan, I., Telli, A. (2019), The effects of metal type, number of layers, and hybrid yarn placement on the absorption and reflection properties in electromagnetic shielding of woven fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019, Vol. 14: 1–13, pp. 1–13.
4. Молодечкин, М. О., Богуш, В. А. (2015), Методика формирования и характеристики композиционного поглотителя электромагнитного излучения СВЧ-диапазона на основе диоксида титана, *Доклады БГУИР*, 2015, № 4 (90), С. 109–115.
5. Шапиро, Д. Н. (2010), *Электромагнитное экранирование*, Издательский Дом «Интеллект», 120 с.
6. Рыклин, Д. Б., Дубровская, О. А. (2022), Оценка экранирующих свойств тканей, защищающих от воздействия электромагнитного излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С. 53–63.
7. Абдулхади, Х. Д. А., Аль-Машатт, Е. А. А., Богуш, В. А., Бойправ, О. В., Лыньков, Л. М., Мухуров, Н. И., Прудник, А. М. (2021), *Электромагнитные экраны на основе алюминия, его оксидов и углеродных волокон, технологии, конструкции и свойства*, Минск, Бестпринт, 120 с.
8. Сафонов, П. Е., Левакова Н. М. (2023), Выбор рациональной структуры и изучение радиотехнических характеристик тканей для защиты от электромагнитного излучения, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2023, № 1 (44), С. 36–48.

REFERENCES

1. Samokvasova, Yu. N., Romashchenko, M. A. (2012), Methodology for selecting structural materials for problems of shielding electronic devices [Metodika vybora konstruksionnykh materialov dlya zadach ekranirovaniya elektronnykh sredstv], *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Vestnik of the Voronezh State Technical University*, 2012, Vol. 8, № 5, pp. 48–50.
2. Anti-static fibers and yarns for textiles – Bekaert.com (2021), available at: <https://www.bekaert.com/en/products/basic-materials/textile/anti-static-fibers-and-yarns-for-textiles> (accessed 20 August 2023).
3. Özkan, I., Telli, A. (2019), The effects of metal type, number of layers, and hybrid yarn placement on the absorption and reflection properties in electromagnetic shielding of woven fabrics, *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, 2019, Vol. 14: 1–13, pp. 1–13.

4. Molodechkin, M. O, Bogush, V. A. (2015), Methodology for the formation and characteristics of a composite absorber of electromagnetic radiation in the VHF band based on titanium dioxide [Metodika formirovaniya i kharakteristiki kompozitsionnogo poglotitelya elektromagnitnogo izlucheniya SVCH-diapazona na osnove dioksida titana], *Doklady BGUIR – Reports of BSUIR*, 2015, № 4 (90), pp. 109–115.
5. Shapiro, D. N. (2010), *Electromagnetic shielding* [Elektromagnitnoye ekranirovaniye], Publishing House "Intellect", 120 p.
6. Ryklin, D. B., Dubrouskaya, V. A. (2022), Evaluation of the shielding properties of fabrics that protect against the effects of electromagnetic radiation [Otsenka ekraniruyushchikh svoystv tkaney, zashchishchayushchikh ot vozdeystviya elektromagnitnogo izlucheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2022, № 2 (43), pp. 53–63.
7. Abdulhadi, Kh. D. A., Al-Mashatt, E. A. A., Bogush, V. A., Boyprav, O. V., Lynkov, L. M., Mukhurov, N. I., Prudnik, A. M. (2021), *Electromagnetic screens based on aluminum, its oxides and carbon fibers, technologies, designs and properties* [Elektromagnitnyye ekrany na osnove alyuminiya, yego oksidov i ughlerodnykh volokon, tekhnologii, konstruksii i svoystva], Minsk, Bestprint, 120 pp.
8. Safonov, P. E., Levakova, N. M. (2023), Selection of a rational structure and study of radiotechnical characteristics of fabrics for protection against electromagnetic radiation [Vybor ratsional'noy struktury i izucheniye radiotekhnicheskikh kharakteristik tkaney dlya zashchity ot elektromagnitnogo izlucheniya], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2023, № 1 (44), pp. 36–48.

Информация об авторах

Information about the authors

Дубровская Ольга Александровна

Магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет; инженер-программист кафедры «Информационные технологии», Витебский государственный ордена Дружбы народов медицинский университет, Республика Беларусь. E-mail: olgadubrovskaya0279@gmail.com

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

Саванович Светлана Эдуардовна

Ассистент кафедры «Защита информации», Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь. E-mail: svetav@bsuir.by

Зайцев Владислав Владимирович

Студент, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: Vlad_shark_by@mail.ru

Volha A. Dubrouskaya

Master of Technical Sciences, Postgraduate Student at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University; Software Engineer of the Department "Information Technology", Vitebsk State Medical University, Republic of Belarus. E-mail: olgadubrovskaya0279@gmail.com

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

Svyatlana E. Savanovich

Assistant at the Department "Information Security", Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus. E-mail: svetav@bsuir.by

Uladzislau U. Zaitsau

Student, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: Vlad_shark_by@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, АРМИРОВАННОГО КОСТРОЙ ЛЬНА

А.В. Котович, В.И. Ольшанский

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

В настоящее время костра льна имеет малое количество сфер применения. В основном ее используют в качестве топлива, в мебельной промышленности и строительстве, а ее объёмы на предприятиях измеряются тоннами.

Целью работы является определение основных теплофизических свойств композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна.

Объектом исследования является композиционный материал.

В статье определены теплофизические свойства композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна. Материал изготавливался методом прессования. Образцы материала испытывались на теплопроводность методом пластины. По результатам испытаний коэффициента теплопроводности композиционного материала построен график зависимости теплопроводности композита от массы материалов, входящих в композит, проведен регрессионный анализ, определены статистически значимые факторы и получено уравнение регрессии коэффициента теплопроводности материала. Получена зависимость коэффициента теплопроводности силикона на основе платины, имеющего твердость по Шору А 10, от толщины. По результатам расчетов получена плотность образцов композиционного материала, получено уравнение регрессии плотности образцов от масс компонентов, входящих в композиционный материал. Рассчитано термическое сопротивление, удельная теплоемкость и коэффициент температуропроводности каждой группы образцов.

Результаты работы позволяют рассчитать теплофизические свойства композиционного материала при различном соотношении компонентов. Исследование показало, что материал является теплоизоляционным.

Ключевые слова: *костра льна; композиционный материал; композит; матрица; наполнитель; теплоизоляционные свойства; теплопроводность; термическое сопротивление; удельная теплоемкость; температуропроводность.*

Информация о статье: *поступила 17 ноября 2023 года.*

THERMAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIAL REINFORCED WITH FLAX SHIVE

Anton V. Kotovich, Valery I. Alshanski

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

ABSTRACT

Currently, flax shive has a small number of applications. It primarily serves as fuel in the furniture industry and construction, with its volumes in enterprises measured in tons.

The purpose of the study is to determine the fundamental thermal and physical properties of a silicone-based composite material reinforced with flax shive.

The article delineates the thermal and physical properties of a composite material derived from silicone reinforced with flax shive. The material was fabricated through pressing. Samples of the material underwent thermal conductivity testing via the plate method. Based on the test results of the thermal conductivity coefficient of the composite material, a graph illustrating the dependence of the composite's thermal conductivity on the mass of the constituent materials was constructed. A regression analysis was performed, statistically significant

factors were identified and the regression equation of the material's thermal conductivity coefficient was derived. The logarithmic dependence of the thermal conductivity coefficient of platinum-based silicone, possessing a Shore A hardness of 10, on the thickness was determined. Based on the calculation results, the density of the composite material samples was ascertained, and the regression equation of the sample density from the masses of the components incorporated in the composite material was derived. The thermal resistance, specific heat capacity and thermal conductivity coefficient of each group of samples were calculated.

The study outcomes facilitate the calculation of the thermal and physical properties of a composite material with a varying component ratios. The study revealed that the material exhibits heat-insulating properties.

Keywords: flax shive; composite material; composite; matrix; filler; thermal insulation properties; thermal conductivity; thermal resistance; specific heat capacity; thermal conductivity.

Article info: received November 17, 2023.

ВВЕДЕНИЕ

Лен-долгунец является ценной сельскохозяйственной культурой, волокно которого используют в основном в легкой промышленности для производства тканей [1]. Но в процессе получения льняного волокна образуются отходы его переработки, костра льна, составляющая около 60–70 % массы перерабатываемой тресты [2]. В данный момент объёмы костры на предприятиях Беларуси измеряются тоннами. Костра льна – это одревесневшие частицы стебля величиной около 5 мм.

На территории Республики Беларусь костра льна используется в основном в качестве топлива, так называемые костробрикеты; в мебельной промышленности из костры изготавливают костроплиты; в строительстве – для производства теплоизоляционных материалов. В последних двух сферах костра льна используется мало.

Вопрос поиска новых сфер применения костры льна достаточно важен, и, в случае его решения, можно будет повысить рентабельность использования костры льна, сделать её использование более экономически эффективным и расширить сферы применения [3]. Одним из путей использования отходов льняного производства является их применение в композиционных материалах.

Композиционные материалы (композиты) представляют собой матрицу, металлическую или неметаллическую, в которой определенным образом расположены упрочняющие элементы [4].

В настоящее время композиционные материалы являются одними из самых востребованных материалов во многих отраслях благодаря уникальному сочетанию свойств, возможности

модернизации, а также их разнообразию [5–7].

Ранее уже проводились исследования свойств композиционных материалов на основе силикона с различными наполнителями [8–10], а также свойств композитов, армированных кострой льна [11–13], но свойства композита, состоящего из силиконовой матрицы, армированной кострой льна, ранее не исследовались.

Областью применения данного материала является деталь низа обуви: простилка.

Простилка в обуви выполняет функции заполнения и выравнивания пространства, образующегося в передней части обуви между стелькой, краями затяжной кромки и подошвой. Данная деталь обуви должна быть экологически безопасна и не выделять вредных веществ, быть гибкой, выполнять роль теплоизоляционного слоя, быть способной впитывать влагу и не должна способствовать размножению бактерий.

Наличие силикона в качестве связующего обеспечит гибкость материала. Костра льна не боится плесени, обладает антибактериальными свойствами, хорошо сохраняет тепло и обеспечивает влагообменные свойства материала.

Целью данной работы является определение основных теплофизических свойств композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна.

МЕТОДЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Существуют различные методы получения многокомпонентных материалов, и каждый из них имеет как свои преимущества, так и недостатки. Наиболее популярными и одновременно подходящими для нового материала являются следующие [14, 15]:

1. Контактное формование. Оно основано на ручном распределении материала наполнителя и последующем нанесении связующего. После отверждения готовое изделие извлекается из формы и подвергают механической обработке: обрезание излишков, высверливание отверстий, и т. д.

Преимуществами данного метода являются: возможность получить изделие сложной формы и большого размера; конструкция изделия легко изменяется; для изготовления матрицы подходит практически любой материал, способный сохранить свои пропорции и форму.

Недостатками данного метода являются: большие затраты ручного труда; низкая производительность; качество изделий зависит от квалификации рабочего; в большей степени подходит для мелкосерийного производства.

2. Прессование. Основано на придании нужной формы изделию под воздействием высокого давления, образующегося в пресс-форме, при температуре быстрого затвердевания связующего.

Преимущества данного метода: возможность изготавливать большой объём материала; большая скорость изготовления изделия, высокое качество поверхности изделия.

Недостатки данного метода: износ деталей пресс-формы, изготовление изделий преимуще-

ственно простой формы.

3. Пропитка и формование композита под давлением (RTM – Resin Transfer Moulding), в процессе которого связующее вещество переходит в закрытую пресс-форму, в которой уже содержится наполнитель.

Преимущества RTM: возможно массовое производство изделий; производство автоматизировано; уменьшение количества используемого сырья; хорошая пропитка изделия связующим.

Недостатки RTM: для каждого нового типа изделия необходима новая пресс-форма.

Наиболее предпочтительным методом производства исследуемого материала является прессование.

ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЯ

Прессование проводилось на винтовом прессе. Пластины композиционного материала были разделены на отдельные образцы для проведения испытаний на теплопроводность методом пластины. Испытания на теплопроводность проведены на стенде НТЦ-22.05.1.Б. Образец данного материала представлен на рисунке 1. Режимы прессования представлены в таблице 1.

Образцы варьировались по массовому соотношению компонентов. В качестве связующего использовался двухкомпонентный сили-



Рисунок 1 – Образец композиционного материала

Таблица 1 – Режимы прессования

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Давление P , кПа	294	292	289	328	325	361	358	356
Температура t , °C	28	28	25	25	27	27	28	28
Время τ , мин	120	120	120	120	120	120	120	120

кон на основе платины, имеющий твердость по Шору А 10. В качестве армирующего материала использовалась костра льна. Толщина образцов составляет 4 мм. Результаты испытания композиционного материала на теплопроводность методом пластины представлены на рисунке 2.

Результаты проведенных испытаний показывают, что данный материал является теплоизоляционным, так как теплоизоляционные материалы имеют коэффициент теплопроводности ниже 0,25 Вт/м·К [16]. Гистограмма показывает, что теплопроводность композиционного материала зависит, в первую очередь, от армирующего ма-

териала – костры льна. Наблюдается постепенное возрастание теплопроводности материала при одинаковом количестве костры и увеличении количества силикона, а также скачкообразное снижение теплопроводности при увеличении количества костры. Наиболее вероятными объяснениями данного факта является более низкое значение теплопроводности костры льна относительно силикона, и при увеличении объемного содержания костры коэффициент теплопроводности композита уменьшается.

Для получения значения коэффициента теплопроводности силикона были изготовлены об-



Рисунок 2 – Зависимость коэффициента теплопроводности композита от масс материалов матрицы и наполнителя

разцы различной толщины, которые испытывались на теплопроводность. Для данных образцов использовался тот же силикон, что и для композиционного материала. По полученным данным построен график зависимости теплопроводности силикона от толщины (рисунок 3).

По полученной логарифмической зависимости было спрогнозировано значение коэффициента теплопроводности силикона толщиной 1,8 мм, которое составило 0,204 Вт/м·К. Данное значение толщины силикона было выбрано исходя из того, что в плоскости сечения образцов на их толщину, равную 4 мм, приходится от 1,8 до 2,5 мм силикона в зависимости от масс материалов в композите. Значения толщин получены с помощью расчетов. Выбранное значение толщины является минимальным и показывает максимально приближенное к образцам значение коэффициента теплопроводности. Данное значение теплопроводности больше максимального для образцов композита. Это подтверждает предположение, что с увеличением количества силикона в образцах их теплопроводности увеличиваются. Логарифмическая зависимость имеет вид:

$$y = 0,041 \cdot \ln(x) + 0,18 \quad (R^2 = 0,9569) \quad (1)$$

где x – толщина силикона, мм.

Проведенный по результатам испытаний коэффициента теплопроводности композиционного материала регрессионный анализ показал, что модель является статистически значимой. Масса костры в композиционный материал является статистически значимой величиной, ее р-значение равняется $9 \cdot 10^{-6}$, что значительно меньше уровня значимости, равного 0,05. При увеличении массы костры коэффициент теплопроводности уменьшается. Масса силикона также является статистически значимой величиной, ее р-значение равняется 0,014, однако значимость масса силикона на несколько порядков ниже, чем значимость массы костры.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 190,046 \cdot 10^{-3} - 2,458 \cdot 10^{-3} \cdot x_1 + 0,133 \cdot 10^{-3} \cdot x_2 \quad (R^2 = 0,9858) \quad (2)$$

где x_1 – масса костры, г; x_2 – масса силикона, г.

В таблице 2 показана плотность образцов композиционного материала.

Из таблицы 2 видно, что плотность композиционного материала уменьшается с увеличением массы костры и увеличивается с увеличением массы силикона. Это подтверждается результатами регрессионного анализа. Масса костры и

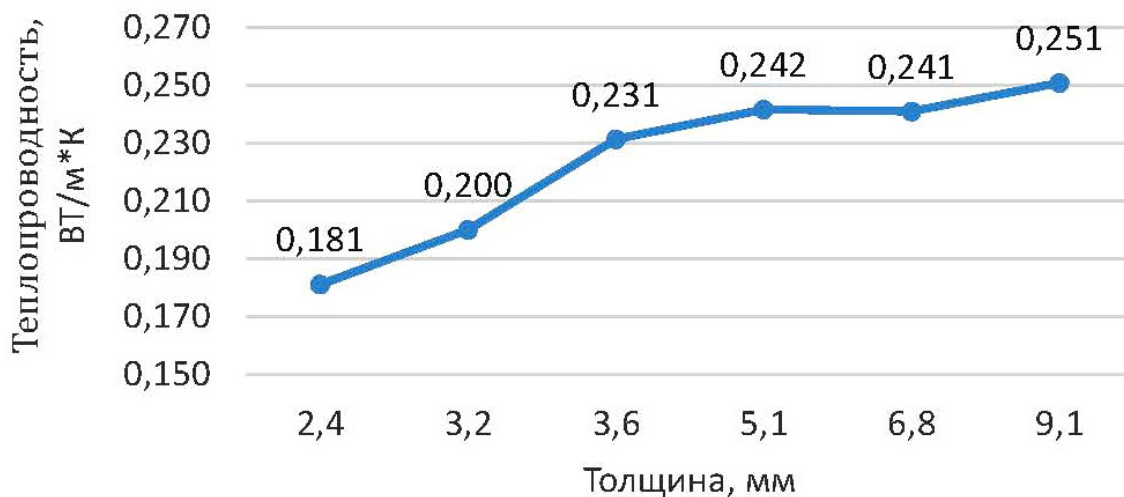


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента теплопроводности силикона от толщины

Таблица 2 – Плотность образцов композиционного материала

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Плотность ρ , кг/м ³	817	783	764	768	748	752	729	683

силикона являются статистически значимыми величинами, их р-значение равняется 0,0012 и 0,0054 соответственно. Масса костры имеет большее значение, но имеет отрицательный характер: с увеличением массы костры плотность композиционного материала уменьшается.

Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$y = 885,389 - 8,333 \cdot x_1 + 1,578 \cdot x_2 \quad (R^2 = 0,929) \quad (3)$$

где x_1 – масса костры, г; x_2 – масса силикона, г.

Для полноты теплофизических характеристик необходимо рассчитать термическое сопротивление теплопередачи, удельную (массовую) теплоемкость и коэффициент температуропроводности образцов композиционного материала.

Термическое сопротивление рассчитывается по формуле:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, \quad (4)$$

где R – термическое сопротивление теплопередачи, м²·К/Вт; δ – толщина образца, м; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С.

Удельная теплоемкость численно равна количеству теплоты, которое необходимо передать единичной массе вещества для того, чтобы его температура изменилась на единицу.

$$c_p = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}, \quad (5)$$

где c_p – удельная теплоемкость, Дж/кг·К; Q – количество теплоты, полученное веществом при нагреве, либо выделившееся при охлаждении, Дж; ΔT – разница температур между поверхностями материала, К.

С учетом того, что режим является нестационарным, Q изменяется во времени. Тогда, согласно уравнению Фурье:

$$Q = \frac{\lambda \cdot F \cdot \Delta T \cdot \tau}{\delta}, \quad (6)$$

где F – площадь пластины, м²; τ – время, с.

Подставив уравнение (6) в (5) получится:

$$c_p = \frac{\lambda \cdot F \cdot \Delta T \cdot \tau}{\delta \cdot m \cdot \Delta T} = \frac{\lambda \cdot F \cdot \tau}{\delta \cdot \rho \cdot F \cdot \delta} = \frac{\lambda \cdot \tau}{\delta^2 \cdot \rho}, \quad (7)$$

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры. Чем выше коэффициент температуропроводности, тем быстрее теплота проходит через материал.

Уравнение коэффициента температуропроводности имеет вид:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p}, \quad (8)$$

где α – коэффициент температуропроводности, м²/с.

Подставив уравнение (7) в (8) получится:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot \frac{\lambda \cdot \tau}{\delta^2 \cdot \rho}} = \frac{\delta^2}{\tau}. \quad (9)$$

Значения термического сопротивления материала, удельной (массовой) теплоёмкости и коэффициент температуропроводности образцов представлены в таблице 3.

Согласно результатам расчетов, приведенных в таблице 3, термическое сопротивление теплопередачи изменяется обратно пропорционально изменению коэффициента теплопроводности: плавно возрастает при уменьшении массы силикона и сохранении массы костры, и скачкообразно возрастает при увеличении массы костры. Это связано с большей теплопроводностью и плотностью силикона. Удельная (массовая) теплоемкость изменяется аналогично термическому сопротивлению с небольшими отклонениями, вероятно вызванными погрешностью определения коэффициента теплопроводности. Коэффициент температуропроводности остается неизменным, согласно формуле (9) при одинаковом времени он зависит только от толщины материала.

Таблица 3 – Теплофизические характеристики материала

Массы материалов силикон/костра в композите, г/г	70/22	55/22	40/22	70/26	40/26	70/30	55/30	40/30
Термическое сопротивление R , $10^3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	27,397	27,778	28,169	29,851	30,303	31,250	32,520	32,787
Удельная (массовая) теплоемкость c_p , Дж/кг·К	11,169	11,494	11,617	10,905	11,029	10,638	10,545	11,164
Коэффициент температуропроводности a , $10^{-5} \text{ м}^2/\text{с}$	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

ВЫВОДЫ

Определены теплофизические свойства нового композиционного материала на основе силикона, армированного кострой льна. Результаты эксперимента по измерению коэффициента теплопроводности методом пластины показали, что новый композиционный материал является теплоизоляционным. Проведен регрессионный анализ зависимости коэффициента теплопроводности от масс материала матрицы и армирующего материала. Результаты анализа показали, что коэффициент теплопроводности зависит, в первую очередь, от массы костры. Получено уравнение регрессии, позволяющее спрогнозировать коэффициент теплопроводности композиционного материала при различном массовом

соотношении компонентов. Получена логарифмическая зависимость коэффициента теплопроводности силикона на основе платины, имеющей твердость по Шору А 10, от толщины.

Определена зависимость плотности композиционного материала от массового соотношения компонентов, доказано, что большее значение имеет масса костры. Получено уравнение регрессии.

Рассчитаны термическое сопротивление, удельная теплоемкость и коэффициент температуропроводности композиционного материала, являющиеся важными характеристиками теплоизоляционных материалов. Выявлена зависимость изменения термического сопротивления от соотношения компонентов материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Лисовский, Д. Л., Ясинская, Н. Н., Кузнецов, А. А. (2023), Биохимическая технология получения котонизированного льняного волокна с использованием ферментных композиций на основе пектиназ, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2023, № 1(44), С. 18–25.
2. Карпунин, В. И. (2016), Отходы льна – ценное сырье для производства тарной упаковки, *Материалы 14-й Международной научно-технической конференции*, Минск, 2016, С. 314–315.
3. Трещалин, М. Ю., Трещалин, Ю. М. (2019), Нетканые материалы на основе химических волокон и короткого льняного волокна, *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2019, № 6(384), С. 51–55.
4. Адашкин, А. М. (2021), *Материаловедение и технология металлических, неметаллических и композиционных материалов*, Москва, ИНФРА-М, 250 с.
5. Das, P. P., Chaudhary V. (2021), Moving towards the era of bio fibre based polymer composites, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, Vol. 4, pp. 100–182.
6. Донецкий, К. И., Хрульков, А. В. (2015), Применение натуральных волокон при изготовлении полимерных композиционных материалов, *Труды ВИАМ*, 2015, № 2, С. 50–55.

7. Рогов, В. А., Шкарупа, М. И., Велис, А. К. (2012), Классификация композиционных материалов и их роль в современном машиностроении, *Вестник Российского университета дружбы народов*, 2012, № 2, С. 41–49.
8. Звигинцева, А. А., Бельских, Г. Н., Худицын, М. С. (2015), Создание новых композиционных материалов на основе силикона, *Поколение будущего: Взгляд молодых ученых – 2015*, 2015, Т. 4, С. 121–123.
9. Ефремов, Н. Ю., Сулаберидзе, В. Ш., Мушенко, В. Д. (2014), Исследование влияния структуры и дисперсности фазы наполнителя на механические характеристики теплопроводящих полимерных композиционных материалов на основе силикона, *Качество. Инновации. Образование*, 2014, № 12(115), С. 49–54.
10. Худицын, М. С., Кошкин, С. С. (2017), Повышение теплопроводности силикона за счет введения мелко-дисперсных наполнителей, *Молодежь и системная модернизация страны*, 2017, Т. 4, С. 109–111.
11. Пичугин, А. П., Смирнова, О. Е., Хританков, В. Ф. (2023), Композиционные прессованные материалы на основе органического сырья, *Эксперт: теория и практика*, 2023, № 2(21), С. 75–81.
12. Бакатович, А. А., Давыденко, Н. В. (2014), Опыт применения теплоизоляционных плит на основе растительных отходов сельскохозяйственного производства, *Вестник гражданских инженеров*, 2014, № 5(46), С. 77–84.
13. Пантюхов, П. В., Монахова, Т. В., Попов, А. А., Русанова, С. Н. (2012), Композиционные материалы на основе полиэтилена и лигноцеллюлозных наполнителей. Структура и свойства, *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, Т. 15, № 13, С. 177–182.
14. Чернышов, Е. А., Романов, А. Д. (2014), Современные технологии производства изделий из композиционных, *Современные наукоемкие технологии*, 2014, № 2, С. 46–51.
15. Вшивков, С. А., Тюкова, И. С. (2011), *Технология производства изделий из композиционных полимерных материалов*, Екатеринбург, УрГУ им. А. М. Горького, 70 с.
16. Исаченко, В. П., Осипова, В. А., Сукомел, А. С. (1975), *Теплопередача*, Москва, Энергия, 488 с.

REFERENCES

1. Lisovskij, D. L., Yasinskaya, N. N., Kuzniatsou, A. A. (2023), Biochemical echnology for producing cot tonized flax fiber using enzyme compositions based on pectinases [Biohimicheskaja tehnologija poluchenija kotonizirovannogo l'njanogo volokna s ispol'zovaniem fermentnyh kompozicij na osnove pektinaz], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2023, № 1(44), pp. 18–25.
2. Karpunin, V. I. (2016), Flax waste – a valuable raw material for the production of containers [Othody l'na – cennoe syr'e dlja proizvodstva tarnoj upakovki], *Proceedings of the 14th International scientific and technical conference*, Minsk, 2016, pp. 314–315.
3. Treshhalin, M. Ju., Treshhalin, Ju. M. (2019), Nonwovens based on chemical fibers and short flax fibers [Netkanye materialy na osnove himicheskikh volokon i korotkogo l'njanogo volokna], *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Seriya Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*, 2019, № 6(384), pp. 51–55.
4. Adaskin, A. M. (2021), *Materialovedenie i tehnologija metallicheskih, nemetallicheskih i kompozicionnyh materialov* [Material science and technology of metallic, non-metallic and composite materials], Moscow, INFRA-M, 250 p.
5. Das, P. P., Chaudhary V. (2021), Moving towards the era of bio fibre based polymer composites, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, Vol. 4, pp. 100–182.
6. Donetsky, K. I., Khrul'kov, A. V. (2015), Application of natural fibers in the production of polymer composite materials [Primenenie natural'nyh volokon pri izgotovlenii polimernyh kompozicionnyh materialov], *Trudy VIAM – Proceedings of VIAM*, Moscow, 2015, pp. 50–55.
7. Rogov, V. A., Shkarupa, M. I., Velis, A. K. (2012), Classification of composite materials and their role in modern mechanical engineering [Klassifikacija kompozicionnyh materialov i ih rol' v sovremennom mashinostroenii], *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov – Peoples' Friendship University of Russia*

- named after Patrice Lumumba, 2012, № 2, pp. 41–49.
8. Zvigintseva, A. A., Belskikh, G. N., Khuditsyn, M. S. (2015), Creation of new composite materials based on silicone [Sozdanie novykh kompozitsionnykh materialov na osnove silikona], *Pokolenie budushhego: Vzgljad molodykh uchennykh – 2015 – Generation of the future: View of young scientists – 2015*, 2015, Vol. 4, pp. 121–123.
 9. Efremov, N. Yu., Sulaberidze, V. Sh., Mushenko, V. D. (2014), Study of the influence of the structure and dispersion of the filler phase on the mechanical characteristics of thermally conductive polymer composite materials based on silicone [Issledovanie vlianiya struktury i dispersnosti fazy napolnitelja na mehanicheskie harakteristiki teploprovodjashhih polimernykh kompozitsionnykh materialov na osnove silikona], *Kachestvo. Innovacii. Obrazovanie – Quality. Innovation. Education*, 2014, № 12(115), pp. 49–54.
 10. Khuditsyn, M. S., Koshkin, S. S. (2017), Increasing the thermal conductivity of silicone through the introduction of fine fillers [Povyshenie teploprovodnosti silikona za schet vvedeniya melkodispersnykh napolnitelej], *Molodezh' i sistemnaja modernizacija strany – Youth and system modernization of the country*, 2017, Vol. 4, pp. 109–111.
 11. Pichugin, A. P., Smirnova, O. E., Khritankov, V. F. (2023), Composite pressed materials based on organic raw materials [Kompozitsionnye pressovannye materialy na osnove organicheskogo syr'ja], *Jekspert: teorija i praktika – Expert: theory and practice*, 2023, № 2(21), pp. 75–81.
 12. Bakatovich, A. A., Davydenko, N. V. (2014), Experience in the use of thermal insulation boards based on agricultural plant waste [Opyt primeneniya teploizoljacionnykh plit na osnove rastitel'nykh othodov sel'skhozajstvennogo proizvodstva], *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*, 2014, № 5(46), pp. 77–84.
 13. Pantyukhov, P. V., Monakhova, T. V., Popov, A. A., Rusanova, S. N. (2012), Composite materials based on polyethylene and lignocellulosic fillers. Structure and properties [Kompozitsionnye materialy na osnove polijetilena i lignocelljuloznykh napolnitelej. Struktura i svojstva], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2012, Vol. 15, № 13, pp. 177–182.
 14. Chernyshov, E. A., Romanov, A. D. (2014), Modern technologies for the production of products from composite materials [Sovremennye tehnologii proizvodstva izdelij iz kompozitsionnykh], *Sovremennye naukoemkie tehnologii – Modern high technologies*, 2014, № 2, pp. 46–51.
 15. Vshivkov, S. A., Tyukova, I. S. (2011), *Tehnologija proizvodstva izdelij iz kompozitsionnykh polimernykh materialov* [Technology for the production of products from composite polymer materials], Ekaterinburg, Ural State University, 2011, 70 p.
 16. Isachenko, V. P., Osipova, V. A., Sukomel, A. S. (1975), *Teploperedacha* [Heat transfer], Moskva, Energy, 488 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Котович Антон Викторович

Аспирант, ассистент кафедры «Технология машиностроения», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь. E-mail: anton.kotovitch97@gmail.com

Ольшанский Валерий Иосифович

Кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплоэнергетика», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

Anton V. Kotovich

Postgraduate Student, Assistant at the Department “Mechanical Engineering Technology”, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus. E-mail: anton.kotovitch97@gmail.com

Valery I. Alshanski

Candidate of Sciences (in Engineering), Professor, Chair of the Department “Thermal Power Engineering”, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

О ПРЕОБРАЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛОКНИСТОГО МАТЕРИАЛА В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПРЯДИЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н.А. Гиссек, Т.А. Самойлова, П.А. Севостьянов

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Технологический процесс можно исследовать, опираясь на данные по преобразованию распределений характеристик обрабатываемого волокнистого материала. Модель преобразования распределения может использоваться как инструмент для управления и оптимизации процесса.

Рассмотрим технологический процесс как неоднородный дискретный Марковский вероятностный процесс. Авторами предложена вероятностная модель преобразования распределения некоторой количественной характеристики волокон в потоке волокнистого материала в технологическом процессе. Преобразование распределения волокнистого материала в этом процессе основано на весовой функции, связывающей распределения характеристик волокон и волокнистого материала до и после процесса.

С помощью дискретизации модели найдена матрица преобразования. В статье рассмотрены различные методики решения задачи оценивания весовой функции преобразования.

В качестве алгоритма оптимального оценивания элементов матрицы преобразования предложен адаптивный случайный поиск. Установлено, что качество оценивания зависит от априорной информации о процессе.

Разработанная модель для описания преобразований характеристик волокнистого материала в технологическом процессе дает возможность изучить особенности взаимодействия волокон с рабочими органами машин и позволяет управлять и оптимизировать режим этого взаимодействия.

Ключевые слова: *волокно; волоконный материал; технологический процесс; распределение; дискретная цепь Маркова.*

Информация о статье: *поступила 23 октября 2023 года.*

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

ABOUT THE TRANSFORMATION OF THE DISTRIBUTION OF FIBROUS MATERIAL IN THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SPINNING INDUSTRY

Natalia A. Gissek, Tatyana A. Samoilova, Petr A. Sevostyanov

The Kosygin State University of Russia, Russian Federation

ABSTRACT

The technological process can be studied based on data on the transformation of the distributions of characteristics of the processed fibrous material. The model of distribution transformation can be used as a tool for process control and optimization.

We view the technological process as a heterogeneous discrete Markov probabilistic process. The authors proposed a probabilistic model for transforming the distribution of a particular quantitative characteristic of fibers in the flow of fibrous material in the technological process. The transformation of the fiber material distribution in this process is predicated on a weighting function relating the distributions of fiber and fibrous material characteristics before and after the process.

Through discretization of the model, the transformation matrix was determined. The article discusses various methods for solving the problem of estimating the weighting transformation function.

An adaptive random search is proposed as an algorithm for optimal estimation of transformation matrix elements. It has been established that the quality of the assessment depends on a priori information about the process.

The formulated model for describing the transformations of the characteristics of fibrous material in the technological process enables the study of the features of the interaction of fibers with the working parts of machines and facilitated the control and optimization of the mode of this interaction.

Keywords: fiber; fibrous material; technological process; distribution; discrete markov chain.

Article info: received October 23, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

Поток волокнистого материала (ВМ), подвергнутого обработке в технологическом процессе (ТП), может быть описан совокупностью распределений его характеристик: длины, тонины, распрямленности, ориентации, прочности волокон, доле сорных примесей, влажности и т. п. В результате взаимодействия с рабочими органами машины в ТП распределения значений некоторых характеристик потока изменяются. Поэтому по преобразованию распределения можно оценивать процесс и управлять им.

Обычно для оптимизации процесса используют статические регрессионные модели, связывающие математические ожидания характеристик ВМ. Для управления пользуются передаточными функциями, описывающими в линейном приближении динамику преобразования усредненных характеристик потока ВМ [1]. Практическая значимость рассматриваемой ниже модели преобразования распределения заключается в возможности использования ее как инструмента для синтеза управления и оптимизации процесса наряду с указанными выше методами. Однако реализация этой задачи выходит за пределы данной статьи.

Рассмотрим модель преобразования распределения некоторой характеристики волокнистого материала и возможные методы её получения. В линейном приближении преобразование распределения можно представить интегралом

$$f_1(x) = \int_0^{\infty} h(x, y) \cdot f_0(y) dy. \quad (1)$$

В этой формуле $f_0(y)$ и $f_1(x)$ – распределения некоторой характеристики волокнистого материала до и после процесса, $h(x, y)$ весовая функция преобразования. Задача заключается в оценке этой весовой функции при известных оценках распределений.

При некоторых дополнительных предположениях о свойствах весовой функции задача

решается аналитически. Если предположить, что весовая функция зависит только от разности своих аргументов

$$h(x, y) = h(y - x), \quad (2)$$

то интеграл (1) представляет собой свертку [2], которая в изображениях функций по Лапласу приводит к решению задачи

$$H(s) = F_1(s)/F_0(s), \quad (3)$$

где $F_0(s)$, $F_1(s)$ и $H(s)$ – изображения по Лапласу, соответственно, распределений $f_0(y)$, $f_1(x)$ и весовой функции $h(z = y - x)$.

Например, длина и тонина волокон шерсти имеют распределения, близкие к классу гамма-распределений [1]

$$f_0(x) = ax \cdot \exp(-ax), \quad f_1(x) = \frac{b(bx)^2}{2} \exp(-bx), \quad x \geq 0.$$

Для этого примера полученная с помощью формулы (3) и обратного преобразования Лапласа весовая функция равна

$$h(z) = \frac{3a}{(a-b)^2} e^{-az} - \frac{az}{2} \left(\frac{a-b}{b} \right)^3 e^{-az} + a \frac{3b-2a}{2b^3} \delta(z) + \frac{a}{2b^3} \frac{d\delta(z)}{dz}.$$

В этом выражении $\delta(z)$ – дельта-функция Дирака.

Однако, условие (2) для преобразования (1) в интеграл свертки, как правило, не выполняется, а распределения $f_0(y)$ и $f_1(x)$ известны приближенно, по результатам экспериментов, обычно в виде гистограмм. Поэтому преобразуем задачу в дискретную форму аналога уравнения (1)

$$P_1(j) = \sum_{k=1}^N h(j, k) \cdot P_0(k), \quad j = 1, \dots, N. \quad (4)$$

В этой формуле $P_0(k)$ и $P_1(j)$ – дискретизированные (полученные с помощью гистограммы) оценки распределений характеристики ВМ. Например, это оценки распределений длины волокон до и после процесса взаимодействия

с рабочими органами машины, $h(j,k)$ – весовая функция, связывающая k -й интервал гистограммы распределения $P_0(k)$ до процесса с j -м интервалом гистограммы распределения $P_1(j)$ после процесса.

Оценку значений весовой функции при известных из эксперимента значениях распределений можно получить по критерию наименьших квадратов или другому, более робастному критерию [3]. Ниже приведены два критерия: критерий наименьших квадратов и минимаксный критерий

$$Wq(h) = \sum_{j=1}^N \left(P_1(j) - \sum_{k=1}^N h(j,k) \cdot P_0(k) \right)^2 \rightarrow \min_{h(j,k)} \quad (5)$$

$$Wm(h) = \max_{j=1, \dots, N} \left| P_1(j) - \sum_{k=1}^N h(j,k) \cdot P_0(k) \right| \rightarrow \min_{h(j,k)} \quad (6)$$

Оценки вероятностей и весовой функции удовлетворяют естественным условиям нормировки

$$\sum_{k=1}^N P_0(k) = 1, \quad \sum_{k=1}^N P_1(k) = 1, \quad \sum_{j=1}^N h(j,k) = 1, \quad k = 1, \dots, N \quad (7)$$

и условиям неотрицательности $P_0(k) \geq 0$ и $P_1(j) \geq 0$.

Поскольку количество варьируемых коэффициентов велико ($\sim N^2$), то для поиска решения был использован адаптивный случайный поиск [4] с варьированием значений $h(j,k)$ в начальных пределах $[0; +10]$ с последующим многократным сжатием интервала вокруг уже найденного наилучшего на текущий момент поиска решением.

Алгоритм поиска оптимальных оценок элементов весовой матрицы – матрицы вероятностей переходов – включал следующие шаги:

1. Задание параметров: числа пробных решений N_{povt} , числа шагов адаптации области поиска N_{ad} , коэффициента сжатия области поиска b , векторов распределений P_0 и P_1 , середины области поиска – «начальной» весовой матрицы MH – и матрицы «начальных» среднеквадратических отклонений SH .

2. Расчет начального значения критерия оптимальности оценки по формулам (5) или (6). Сохранение начального решения как «оптимального»: $Hopt = MH$ и значения критерия $Wqopt$ (или $Wmopt$).

3. Для $ad = 1, \dots, N_{ad}$ выполнить:

Для $povt = 1, \dots, N_{povt}$ выполнить

А. Генерация пробного решения – элементов матрицы $||h(j,k)||$ – с использованием генератора нормально распределенных чисел со средними значениями из матрицы MH и среднеквадратическими значениями из матрицы SH .

В. Вычисление для пробных решений значений критерия оптимальности, сравнение их с $Wqopt$ (или $Wmopt$) и сохранение наименьшего из них с соответствующим ему пробным решением в качестве текущего «оптимального» решения.

Адаптация: перемещение центра поиска в наилучшую найденную точку $MH = Hopt$ и сжатие области поиска – уменьшение в b раз элементов матрицы среднеквадратических отклонений $SH \leftarrow SH/b$.

4. Вывод результатов поиска: $||h(j,k)|| = Hopt$ и минимального значения критерия оптимальности $Wqopt$ (или $Wmopt$).

Для проверки предлагаемой методики оценивания весовой функции были выбраны модельные распределения: для $P_1(k)$ нормальное распределение с математическим ожиданием 26 мм и коэффициентом вариации 20 %; для $P_0(j)$ экспоненциальное распределение с математическим ожиданием 20; по распределениям построены их дискретные аппроксимации – гистограммы с количеством интервалов 51; общее количество повторных пробных вариантов весовой функции – матрицы $h(j,k)$ при случайном адаптивном поиске 105. Модельные распределения сильно отличаются друг от друга, что является наиболее сложным вариантом для проверяемого метода оценивания.

Результаты решения задачи показаны на рисунке 1. Значения $P_0(k)$ и $P_1(j)$ отмечены как «Распределение до ТП» и «Распределение после ТП». Поскольку метод оценивания предполагает возможность априорного задания вида весовой функции, то сравнивались два варианта моделей весовой функции. В первом варианте пробные значения весовой функции генерировались как равномерно распределенные случайные числа с адаптацией области генерации в зависимости от наилучшего, достигнутого на предыдущих испытаниях, результата. Этот вариант, по сути, означает отсутствие априорной информации о

весовой функции. Во втором варианте для описания априорной информации о весовой функции была принята форма

$$h(j, k) = c_1 \cdot \exp(-c_2 \cdot j \cdot k / 100), \quad i, k = 0, \dots, N = 50. \quad (8)$$

В этом выражении при случайном поиске задавались случайные значения коэффициентов формы c_1, c_2 , которые адаптировались с учетом наилучших, ранее найденных значений.

Проверка качества подбора весовой функции $h(j, k)$ оценивалось путем сравнения модельного распределения P_e , вычисленного по формуле (4) с заменой P_i на P_e , с выбранным модельным распределением P_i . Графики модельных распределений по двум сравниваемым вариантам показаны на рисунке 1 и обозначены как «Модельное распределение, Н – unif» и «Модельное распределение, Н – exp».

Из полученных результатов следует, что использование априорной информации о весовой функции в виде формы (8) позволило существенно улучшить качество оценки весовой функции, притом, что при полном отсутствии информации (вариант 1) качество подбора весовой функции также является достаточно удовлетворительным и пригодным для изучения и управления ТП.

При использовании модели (1) или ее дискретного варианта (4) следует обязательно учитывать, что в большинстве технологических процессов происходит потеря части обрабатываемого материального потока, которая уходит в отходы и не участвует в последующих процессах. Это, например, непряжемое, очень короткое или поврежденное волокно, сорные примеси, которые отделяются от массы пряжмых волокон и выводятся из процесса.

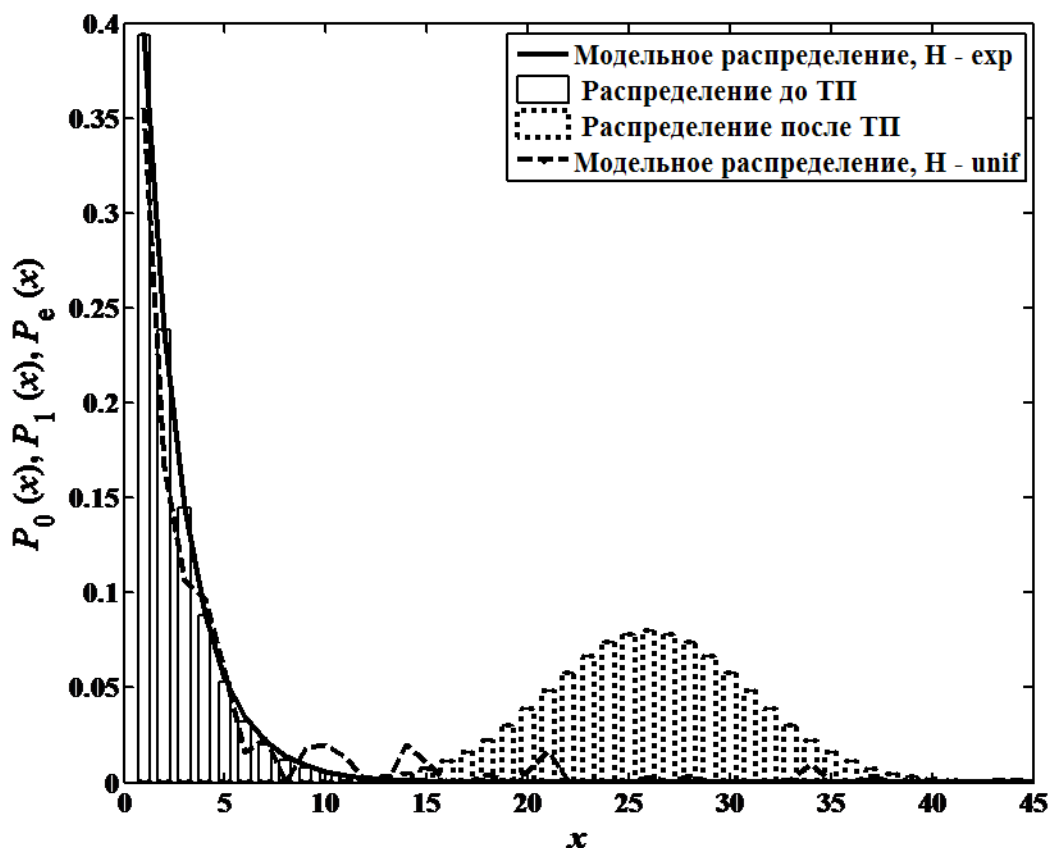


Рисунок 1 – Исходные и модельные распределения

Учет этого обстоятельства в модели означает, что распределения общей массы волокнистого материала на входе и выходе технологического перехода рассчитываются на разные массы волокнистого материала. Например, в соответствии с условием нормировки распределения должны выполняться следующие соотношения

$$P_0(k) = \frac{m_0(k)}{M_0}, \quad P_1(j) = \frac{m_1(j)}{M_1}, \quad (9)$$

причем должны выполняться равенства

$$\sum_{k=1}^n m_0(k) = M_0, \quad \sum_{j=1}^n m_1(j) = M_1. \quad (10)$$

В этих формулах M_0 и M_1 – массы волокнистого материала до и после процесса обработки, а $m_0(k)$ и $m_1(j)$ – массы материала, приходящиеся на, соответственно, на k -й и j -й диапазоны значений рассматриваемой характеристики, например, длины волокон.

В силу сказанного выше, величина M_0 больше M_1 . На моделях (1) и (4) это обстоятельство не сказывается, поскольку весовые функции оцениваются в относительных величинах. Однако, при оценке перераспределения массы волокнистого материала между диапазонами значений характеристики изменения абсолютных величин массы, проявляющееся в различии между $m_0(k)$ и $m_1(j)$, может оказаться важным.

Один из формальных способов учета изменения общей массы волокнистого материала по переходам производства в рассматриваемой модели преобразования распределений этой массы заключается в следующем. В число диапазонов, на которые разделяются возможные значения исследуемой характеристики, включают дополнительные диапазоны, попадание в которые означало бы уход соответствующей части волокнистого материала из потока обрабатываемого материала в категорию отходов.

Иными словами, в распределение массы волокнистого материала включаются не только диапазоны распределения перерабатываемого

материала, но и потоки материала, уходящего в отходы и не участвующего в дальнейшей переработке. Тем самым можно обеспечить выполнение нормировки распределений, выраженных не только в долях массы, но и в абсолютных значениях массы.

Рассмотрим теперь возможность использования описываемой модели преобразования распределения некоторой характеристики волокнистого материала, например, распределения длины волокон, в нескольких последовательных переходах. Легко видеть, что такое преобразование распределения образует Марковскую цепь. Действительно, преобразование распределения волокнистого материала, по длине на k -м переходе $f_{k-1}(x) \rightarrow f_k(x)$ зависит только от распределения $f_{k-1}(x)$ и не зависит непосредственно, в явном виде, от распределений на предшествующих переходах

$$f_0(x) \rightarrow f_1(x) \rightarrow \dots \rightarrow f_{k-1}(x) \rightarrow f_k(x) \rightarrow \dots \rightarrow f_n(x) \quad (11)$$

Заметим, что, хотя преобразование волокнистого потока можно рассматривать как дискретную Марковскую цепь. Эта цепь имеет конечное число «шагов», равное числу производственных переходов, и является неоднородной цепью, поскольку на каждом «шаге» цепи весовая функция, или в дискретном виде, матрица вероятностей переходов, уникальна, т. е. меняется от перехода к переходу.

Марковское свойство преобразования распределений позволяет определять весовую функцию преобразования распределения для нескольких переходов через последовательное интегрирование весовых функций отдельных переходов. Например, весовая функция преобразования распределения $f_{k-2}(x) \rightarrow f_{k+2}(x)$ равна (12).

В случае, если интегралы (1) являются свертками для всех переходов, то интегралы в (12) легко вычисляются через произведение изображений весовых функций (13).

$$h(x_{k-2}, x_{k+2}) = \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} \int_0^{+\infty} h(x_{k-2}, x_{k-1}) \cdot h(x_{k-1}, x_k) \cdot h(x_k, x_{k+1}) \cdot h(x_{k+1}, x_{k+2}) dx_{k-1} dx_k dx_{k+1}. \quad (12)$$

$$H_{k-2, k+2}(s) = H_{k-2, k-1}(s) \cdot H_{k-1, k}(s) \cdot H_{k, k+1}(s) \cdot H_{k+1, k+2}(s). \quad (13)$$

К сожалению, представление преобразования распределения сверткой практически всегда не реализуемо. Поэтому более перспективным является метод дискретизации распределений и оценки матриц вероятностей перехода описанным выше методом.

В этом случае преобразование дискретного распределения волокнистого потока сразу за несколько переходов можно описать соответствующей матрицей вероятностей перехода. Например, преобразование на $k-1, \dots, k+1$ -м переходах можно описать матрицей

$$h_{k-2,k+2}(j,r) = \sum_{s=1}^N \sum_{t=1}^N \sum_{q=1}^N h_{k-2,k-1}(j,s) \cdot h_{k-1,k}(s,t) \cdot h_{k,k+1}(t,q) \cdot h_{k+1,k+2}(q,r) \quad (14)$$

или в матричной форме

$$\mathbf{H}(k-2, k+2) = \mathbf{H}(k-2, k-1) \times \mathbf{H}(k-1, k) \times \mathbf{H}(k, k+1) \times \mathbf{H}(k+1, k+2). \quad (15)$$

Таким образом, располагая весовыми функциями или матрицами преобразования распределений для каждого перехода, можно найти весовую функцию или матрицу вероятностей перехода для любого подмножества последовательных переходов и для всей цепочки переходов производства.

В ряде случаев благодаря конструкции машины и особенностям осуществления на ней технологического процесса, как, например, это имеет место для валичных и шляпочных кардочесальных машин, процесс обработки потока волокнистого материала в пределах одной машины или даже одного узла можно рассматривать последовательные переходы обработки. В этом случае построенная схема моделирования переходов может быть применена к процессам на одной машине.

ВЫВОДЫ

1. Предложена вероятностная модель преобразования распределения некоторой количественной характеристики, например, длины волокон, волокнистого материала в технологическом процессе. Модель основана на представлении о технологическом процессе как неоднородном дискретном Марковском вероятностном процессе.

2. Преобразование распределения волокнистого материала основано на использовании весовой функции, связывающей распределения

характеристик волокон и/или волокнистого материала до и после процесса.

3. Предложена и реализована на примере дискретизация модели, позволившая найти численным методом весовую функцию в виде матрицы преобразования.

4. Рассмотрены методики аналитического и численного решения задачи оценивания весовой функции преобразования.

5. Для определения матрицы преобразования предложены критерии и алгоритм оптимального оценивания элементов матрицы преоб-

разования – алгоритм адаптивного случайного поиска оптимальной оценки весовой функции. Приведены примеры результатов двух вариантов оценивания – при отсутствии и при наличии априорной информации о весовой функции. Показано, что качество оценивания слабо зависит от априорной информации о процессе.

6. Предлагаемая модель для описания преобразований характеристик волокнистого материала в процессе его переработки позволяет более глубоко изучить особенности взаимодействия волокон с рабочими органами машин и позволяет управлять и оптимизировать режим этого взаимодействия.

7. Преимущество предлагаемого метода описания технологического процесса основано на относительной простоте получения оценок распределений характеристик волокнистого материала, например, длины волокон, и автоматизации вычисления весовой функции. Практическая значимость метода заключается в возможности прогнозирования работы технологического оборудования по переходам, контроля его эффективности не только по усредненным показателям, но и в целом по распределениям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Севостьянов, П. А. (2021), *Динамика и модели основных процессов прядения : рыхление, очистка, смешивание, кардо- и гребнечесание, вытягивание, дискретизация, штапелирование, кручение, намотка, перемотка*, Москва, Клуб-Печати, 591 с.
2. Деч, Г. (1960), *Руководство к практическому применению преобразования Лапласа*, Москва, Физматгиз, 207 с.
3. Габасов, Р., Кириллова, Ф. М. (1984), *Конструктивная теория экстремальных задач*: Белорусский гос. ун-т им. В. И. Ленина, Минск, Университетское, 203 с.
4. Растрин, Л. А. (1979), *Случайный поиск*, Москва, Знание, 64 с.

REFERENCES

1. Sevostyanov, P. A. (2021), *Dynamics and models of the main spinning processes: loosening, cleaning, mixing, carding and combing, drawing, discretizing, stacking, twisting, winding, rewinding* [Dinamika i modeli osnovnyh processov prjadenija: ryhlenie, ochistka, smeshivanie, kardo- i grebnechesanie, vytjagivanie, diskretizacija, shtapelirovanie, kruchenie, namotka, peremotka], Moscow, Klub-Pechati, 591 p.
2. Doetsch, G. (1960), *Guide to the practical application of the Laplace transform* [Rukovodstvo k prakticheskomu primeneniju preobrazovanija Laplasa], Moscow, Fizmatgiz, 207 p.
3. Gabasov, R., Kirillova, F. M. (1984), *Constructive theory of extremal problems* [Konstruktivnaja teorija jekstremal'nyh zadach]: Belarusian State University named after V.I. Lenin, Minsk, Universitetskoe, 203 p.
4. Rastrigin, L. A. (1979), *Random search* [Sluchajnyj poisk], Moscow, Znanie, 64 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Гиссек Наталья Александровна

Аспирант, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация.
E-mail: ngissek@gmail.com

Самойлова Татьяна Алексеевна

Кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация.
E-mail: tasamo89@yandex.ru

Севостьянов Петр Алексеевич

Доктор технических наук, профессор, Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация.
E-mail: petrsev46@yandex.ru

Natalia A. Gissek

Postgraduate Student, The Kosygin State University of Russia, Russian Federation.
E-mail: ngissek@gmail.com

Tatyana A. Samoilova

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, The Kosygin State University of Russia, Russian Federation.
E-mail: tasamo89@yandex.ru

Petr A. Sevostyanov

Doctor of Science (in Engineering), Professor, The Kosygin State University of Russia, Russian Federation.
E-mail: petrsev46@yandex.ru

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ УГЛА СДВИГА НА ПАРАМЕТРЫ ТКАНЕЙ

Дж. Эзенванкво, И. Петрикова, Дж. Зак

Технический университет в Либерце, Чешская Республика

АННОТАЦИЯ

Ткани играют важную роль при использовании в качестве армированных материалов для композитов и, в частности, в качестве одежды. В текстильной промышленности макроструктура ткани и виды переплетения играют важную роль в поведении, механических свойствах, а также в общем ощущении и текстуре ткани. Инженерные константы являются важными параметрами, поскольку материалы в основном орфотропны. Актуально исследовать влияние некоторых важных параметров ткани на инженерные константы материалов, в основном, когда они критичны с точки зрения охраны труда, промышленной безопасности и охраны окружающей среды для таких материалов как армированные композиты, применяемые в конструкции крыльев, фюзеляжей и других деталей самолетов. Свойства материалов испытывали в лаборатории по двум показателям: модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Технически несущественная плотность получена из данных производителей, а программа автоматически рассчитывает два модуля.

Аналогично, геометрические параметры ткани были измерены в лаборатории с помощью двух идеально плоских пластин с нагрузкой 100 г и цифрового штангенциркуля. Влияние угла сдвига в тканях на шесть инженерных констант было исследовано с помощью программы Ansys Material Modeler. Влияние геометрических свойств ткани, как толщина нити, ширина пряжи и расстояние между нитями, будет изучено в дальнейших работах в ближайшем будущем.

Объект исследований – ткань полотняного переплетения.

Цель работы – исследовать влияния изменения угла сдвига в тканях полотняного переплетения на модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона и объемную долю волокна.

Ключевые слова: ткань; текстура; текстиль; пограничное состояние; композиты.

Информация о статье: поступила 29 августа 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

SHEAR ANGLE EFFECT ON THE ENGINEERING CONSTANTS OF WOVEN FABRICS

Johnson Ezenwankwo, Iva Petrikova, Josef Zak

Technical University of Liberec, Czech Republic

ABSTRACT

Fabrics play a key role when used as both reinforced material for composites and simply as apparels. In textile industry, fabric geometrics and weave pattern play a key role in the overall behaviour, mechanical response and general feel and texture of a piece of fabric. The engineering constants of are highly important parameters since the materials are largely orthotropic in nature. It is therefore, pertinent to investigate the effect of some key parameters on the engineering constants of a material, especially when they are used for HSE critical purposes such as reinforced composites employed in the design of aircraft wings, fuselages and other parts. The effect of shear angle on the six engineering constants is investigated using Ansys Material Modeler. Material properties are shown in Table 2 and gotten from measurement from the lab. The model was automatically achieved by inputting the textile geometrics, and generating the RVE, applying the boundary conditions, periodicity of the model and running the simulation. The material properties are given in Table 1, and are deduced from experimental data. To further expound the work, the effect of geometric properties such as fabric thickness, yarn width and yarn spacing will be explored in subsequent work.

Keywords: fabric; texture; textile; effect; composites.

Article info: received August 29, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI-2023".

INTRODUCTION

In application and usage, the angle between weft and warp, described as the shear angle, changes due to the dynamic forces of tension and pure shear. This tends to have a significant impact on the behaviour and response of the fabric in usage. It is paramount to determine how this constant change in angle affects the geometry of the fabric and how it affects the textile formed from this fabric. Fabric properties including weave type and setting have significant effects on the shear response of fabrics [1]. A number of experimental methods proposed for measuring shear deformation in woven fabrics include the picture frame test method (PFTM), the Kawabata evaluation system for fabrics (KEF) and the bias-extension test method (BETM). Most other research works have delved into experimental investigation of the shear angle, displacement, tensile and shear forces of the fabric. There is a relationship between wrinkling and shear angle.

The study showed how the critical shear angle called locking angle has a high dependence on such parameters as yarn spacing, tow size and friction [2]. In both applications as textiles in clothing and reinforcements in composites, wrinkling and drapeability play a big role in terms of shear angle, although the latter carry more load. The pin-joint model is famous in determining the deformation of woven fabrics based on kinetic-geometric analysis [3]. The main assumption is that yarns, inextensible and incompressible, are pinned at points of intersection and are free to relocate spatially but not translate in real time.

A number of research works have studied the effect of shear angle caused by different factors on textile in use. The pin-joint model is one of the prominent models developed for predicting the warp-weft interaction in dynamics. One such work involves fixing the clamp holding the fabric on one end and applying a shearing force at the other end by moving the clamp at a constant speed [4, 5].

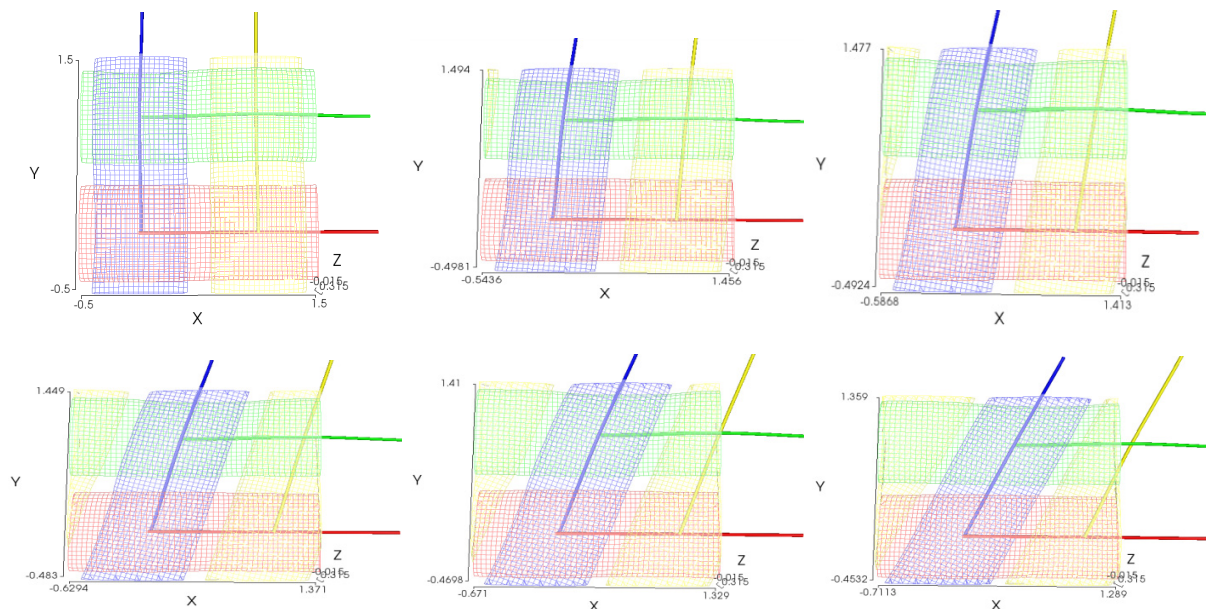


Figure 1 – Shear Angle [From Left to right (0–25°:5°)]

Another practical method, as given by numerous authors, is the picture frame method where the fabric sample is inserted in a frame. A measured tensile load is exerted along the corners of the frame – several configurations are used depending on the fabric shape and size, chosen test speed, frame design etc [6–12]. The proposed method of investigating the effect of shear angle on fabrics will be used in further works where the model is exported to commercial software, relevant boundary conditions are imposed and the system is solved in the fashion of the live experimental method.

This work will investigate the effect of shear angle on a 2x2 plain-woven fabric. The model is composed of lenticular-cross section yarns generated from TexGen. As in Table 2, the geometrics of the yarn are given as 1.0 mm for the yarn spacing, 0.8mm for the yarn width, and 0.3 mm for the fabric thickness and 0.1mm for the yarn height. It is also technically desirable to rework the process in Ansys 2022 R2, where the shear angle is initially zero and then parametrically ramped to 30°. Finally, the effect of the geometric property of the model is investigated as well by parameterizing, for instance, the yarn spacing, yarn width and fabric thickness which are known to affect both the in-plane and transverse properties of the RVE in general.

SETTING UP THE MODEL

The model is a conventional plain-woven 2x2 fabric generated in-situ using the in-built Material Modeller module in Ansys 2022. Standard periodic boundary conditions are built into the system so that opposing sides of the model are kinematically tied to a corresponding side using simple canonical equations. The proposed geometrical model is automatically generated in the software. The material properties are given as follows:

The yarn type greatly influences the behaviour of the fabric. In this case, the flattened lenticular (high fibre volume fraction) yarn type was chosen. To retain full orthotropic behaviour of the fabric, the fabric is set not to align with the x-direction. Setting this option will form a 4-yarn arrangement where each pair of yarns lay in opposite positions and form a close square. The periodicity condition is activated and to allow for solutions for the six load cases, the symmetry in XY, XZ or YZ is not turned on.

YARN AND FABRIC GEOMETRICS

The yarn geometry plays a vital role in the shear angle which is directly related to the fibre angle. Specifically, in the bias-extension experiment, the shear angle, θ_L , is calculated as:

$$\theta_L = \frac{\pi}{2} - 2\theta = \frac{\pi}{2} - 2\cos^{-1}\left(\frac{L_0 + \delta}{L_0\sqrt{2}}\right), \quad (1)$$

θ_L is the angle between the warp and weft whereas L_0 is the difference between the original test length L and width W , such that $L_0 = L - W$, and δ is the displacement of the sample during the bias-extension test.

RESULTS AND DISCUSSION

Since the model was not solved with symmetry in XY, XZ or YZ, all six load cases are accounted for. The plots are a comparison of Young's modulus, Shear modulus and Poisson's ratio. The different cases of shear angle are observed. A keen observance is made of how sensitive each of the engineering constants are to the shear angles which ranged from zero through 20° with a 5° step. The effect of change in shear angle is the most significant in E_1 , less in E_2 and the least in E_3 . The shear angle also affects the possible values the software is able to compute.

Table 1 – Material Properties

E (GPa)	ν	B (GPa)	S (GPa)	ρ (g/cm ³)
73	0.22	43.45	29.918	2.56

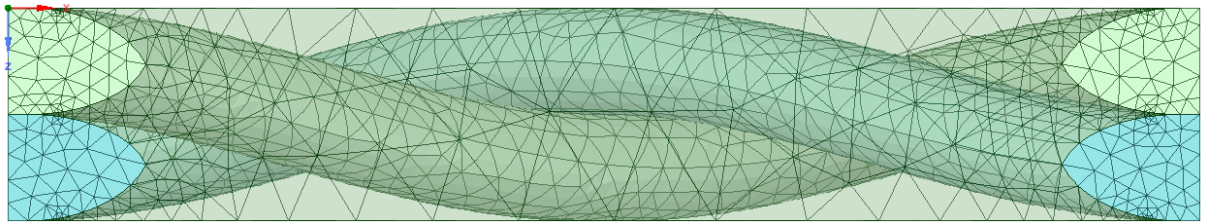


Figure 2 – Actual Model in Meshing

Table 2 – Model Geometry

Yarn Spacing	Yarn Width	Fabric Thickness	Yarn Height
(mm)			
1.00	0.80	0.30	0.10

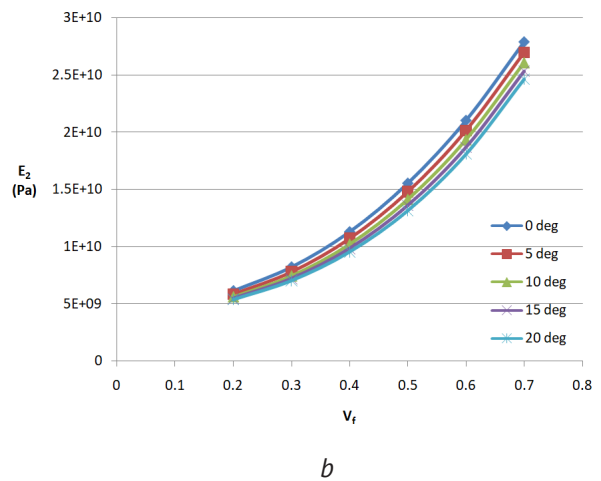
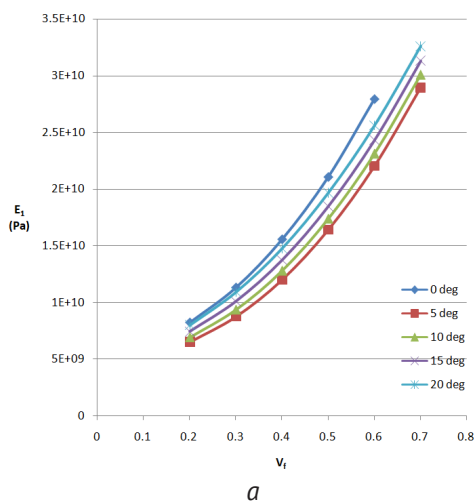
Figure 3 – (a) E_1 vs V_f (b) E_2 vs V_f

Figure 3b, 4a and 4b are the plots showing the relationships with shear modulus (G), and how change in shear angle affects its relation with the fibre volume fraction. G_{12} , G_{13} and G_{23} all showed very insignificant dependence on the shear angle.

From figure 5a, 5b and 5c, the shear angle showed the most significance and effect. ν_{12} and ν_{23} showed more variation with the shear angle than ν_{13} . Generally, this can be explained in the

fact that shear modulus has a direct correlation with Poisson's ratio.

ACKNOWLEDGEMENT

This publication was written at the Technical University of Liberec as part of the project "Research of advanced materials, and application of machine learning in the area of control and modeling of mechanical systems"

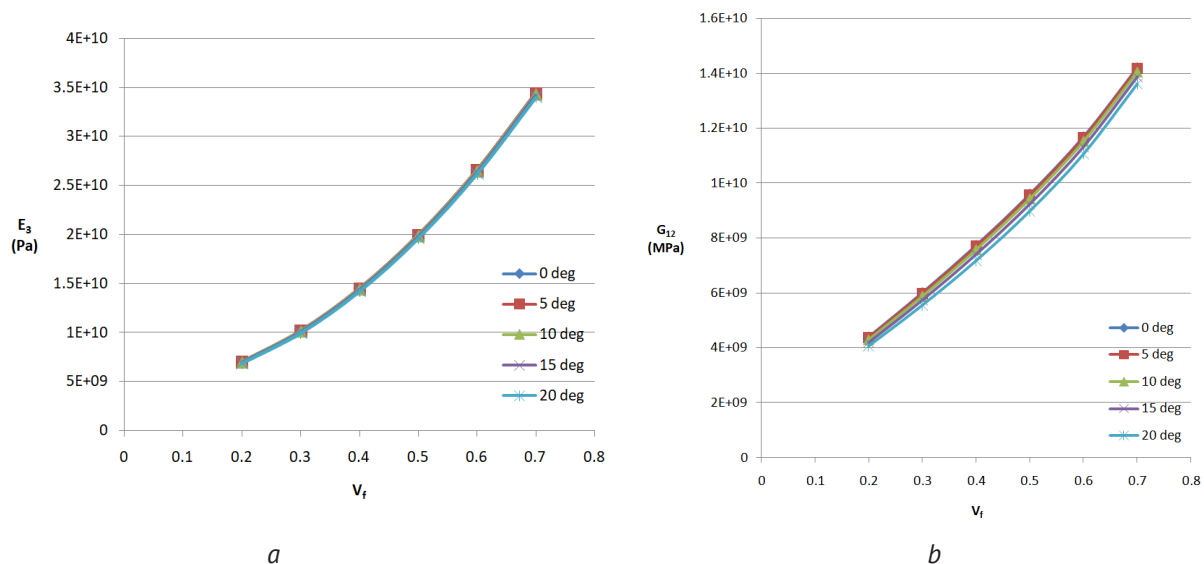


Figure 3 – (a) E_3 vs V_f (b) G_{12} vs V_f

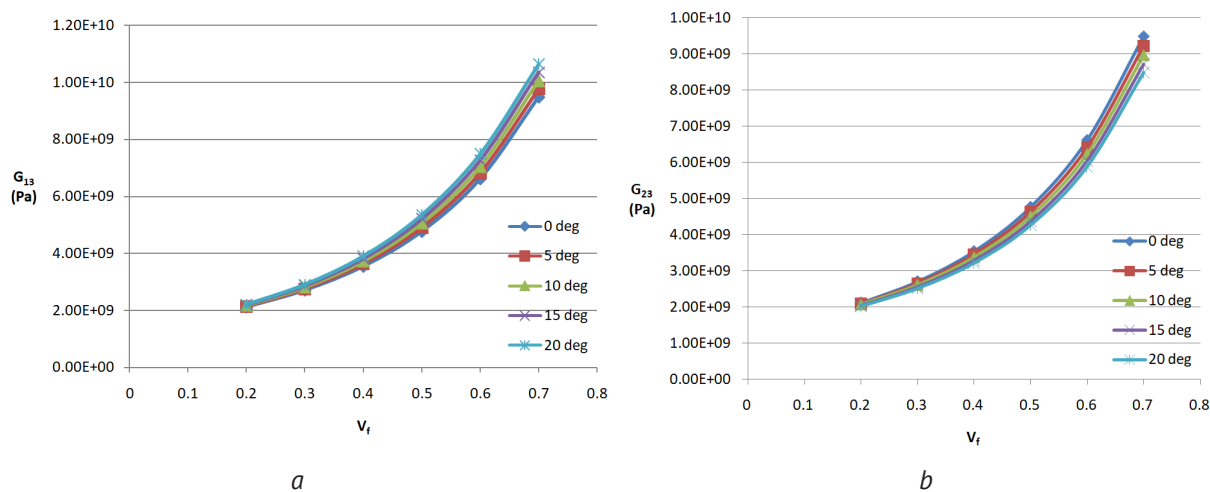


Figure 4 – (a) G_{13} vs V_f (b) G_{23} vs V_f

nr. SGS-2022-5072 with the support of the Specific University Research Grant, as provided by the Ministry of Education, Youth and Sports of the Czech Republic in the year 2023.

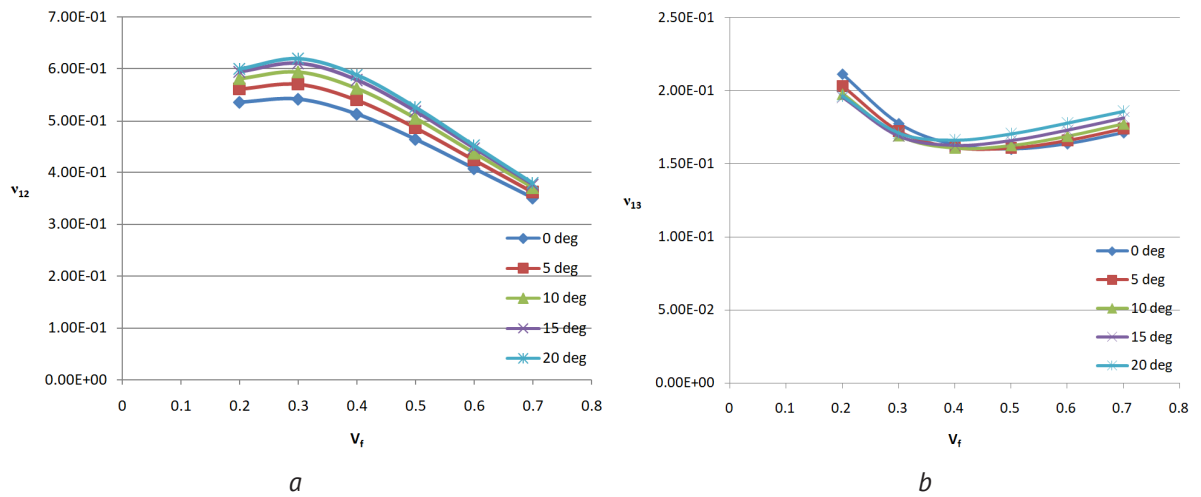


Figure 5 – (a) ν_{12} vs V_f (b) ν_{13} vs V_f

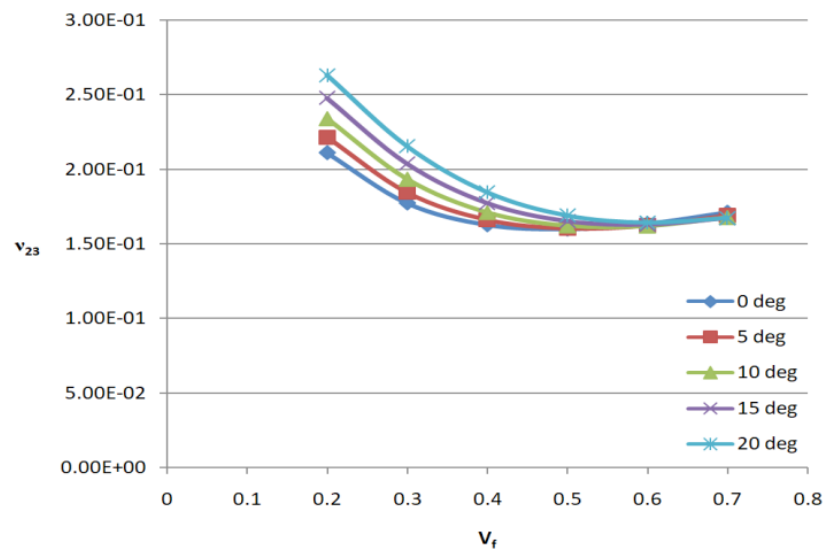


Figure 6 – ν_{23} vs V_f

REFERENCES

1. Büyükbayraktar, R. B. (2022), A Generalised Geometric Model for the Determination of Shear Angle during the Bias-extension Test, *The Journal of the Textile Institute*, 2022; 113; pp. 2249–2262.
2. Prodromou, A. G. and Chen, J. (1997), On the Relationship between Shear Angle and Wrinkling of Textile Composites Preforms, *Composite Part A*, 1997; 28; pp. 491–503.

3. Mark, C. & Taylor, H. M. (2013), The Fitting of Woven Cloth to Surfaces, *Journal of Textile Institute*, 2013; 47; pp. 477–488.
4. Hu, J. L. and Zhang, Y. T. (1997), The KES Shear Test for Fabrics, *Textile Research Journal*, <https://doi.org/10.1177/004051759706700904>, 1997; 67(9); pp. 654–664.
5. Kawabata, S., Niwa, M. and Kawai, H. (1973), The Finite-deformation Theory of Plain-weave Fabrics, Part III: The Shear-deformation Theory, *The Journal of the Textile Institute*, <https://doi.org/10.1177/004051759706700904>; 1973; 64(2); pp. 62–85.
6. Boisse, P., Hamila, N., Guzman-Maldonado, E., Madeo, A., Hivet, G. and dell'Isola, F. (2017), The Bias-extension Test for the Analysis of In-plane Shear Properties of Textile Composite Reinforcements and Prepregs: A Review, *International Journal of Material Forming*, <https://doi.org/10.1007/s12289-016-1294-7>; 2017; 10(4), pp. 473–492.
7. Cao, J., Akkerman, R., Boisse, P., Chen, J., Cheng, H. S., de Graaf, E. F., Gorczyca, J. L., Harrison, P., Hivet, G., Launay, J., Lee, W., Liu, L., Lomov, S. V., Long, A., de Luycker, E., Morestin, F., Padvoiskis, J., Peng, X. Q., Sherwood, J. and Zhu, B. (2018), Characterization of Mechanical Behavior of Woven Fabrics: Experimental Methods and Benchmark Results, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.02.016>; 2018; 39(6); pp. 1037–1053.
8. El Abed, B., Msahli, S., Bel Hadj Salah, H. and Sakli, F. (2011), Study of Woven Fabric Shear Behaviour, *Journal of the Textile Institute*, <https://doi.org/10.1080/00405001003771226>, 2011; 102(4); pp. 322–331.
9. Harrison, P. (2012), Normalization of Biaxial Bias-extension Test Results Considering Shear Tension Coupling, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2012.04.014>; 43(9); pp. 1546–1554.
10. Lebrun, G., Bureau, M. N., and Denault, J. (2003), Evaluation of Bias-extension and Picture-frame Test Methods for the Measurement of Intraply Shear Properties of PP/glass Commingled Fabrics, *Composite Structures*, [https://doi.org/10.1016/S0263-8223\(03\)00057-6](https://doi.org/10.1016/S0263-8223(03)00057-6), 2012; 61(4); pp. 341–352.
11. Potter, K. (2002), Bias Extension Measurements on Cross-plyed Unidirectional Prepreg, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, [https://doi.org/10.1016/S1359-835X\(01\)00057-4](https://doi.org/10.1016/S1359-835X(01)00057-4), 2002; 33(1); 63–73.
12. Wang, C., Shankar, K., Morozov, E., Ram Ramakrishnan, K. and Fien, A. (2020), Characterization of Shear Behavior in Stainless Steel Wire Mesh Using Bias-extension and Picture Frame Tests, *Journal of Engineering Mechanics*, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EM.1943-7889.0001710](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EM.1943-7889.0001710), 2020; 146(2); 04019127–1–04019127-12.

Информация об авторах

Information about the authors

Эзенванкво Джонсон

Магистр наук, Технический университет в
Либереце, Чешская Республика.

E-mail: johnson.ezenwankwo@tul.cz

Петрикова Ива

Доцент, старший преподаватель, заведующий
кафедрой, Технический университет в Либереце,
Чешская Республика.

Зак Джозеф

Доцент, старший преподаватель, Технический
университет в Либереце, Чешская Республика.

Johnson Ezenwankwo

MSc., Doctoral Researcher, Technical University of
Liberec, Czech Republic.

E-mail: johnson.ezenwankwo@tul.cz

Iva Petrikova

PhD, Senior Lecturer and Head of Department,
Technical University of Liberec, Czech Republic.

Josef Zak

PhD, Senior Lecturer, Technical University of
Liberec, Czech Republic.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМОКАНИЯ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ РАБОЧЕЙ КУРТКИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДОЖДЕВАНИЕМ

О.В. Метелева, Л.И. Бондаренко

Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Вероятные погодные условия должны быть учтены при проектировании водозащитных изделий для работающих, профессиональная деятельность которых осуществляется вне помещений. Размеры защитных элементов унифицированы или стандартизированы без учета наиболее вероятной области воздействия воды на детали изделий. Экспериментально исследовано влияние угла наклона участков поверхности одежды, в том числе и со швами, на продолжительность времени их промокания. Оно осуществлено с помощью специально созданной и запатентованной установки.

Установлено, что угол расположения участка поверхности изделия в пространстве с учетом направления потока воды в значительной степени влияет на устойчивость его к промоканию. Продолжительность времени промокания минимальна на тех участках швейного изделия, где вода падает под углами от 60° до 90° к поверхности. Соединительные швы не должны располагаться на этих участках. Ниточные швы всех видов конструкций промокают быстрее, чем ткань. Вертикальные соединения более устойчивы к промоканию.

Выполнен анализ зависимостей средней скорости изменения площади намокания от угла наклона к вертикали на каждом из исследуемых участков. Он показал, что необходимо учитывать максимальный угол падения воды на наклонную поверхность одежды. Определена минимально защищаемая накладками зона вероятного промокания: на спинке должна включать плечевой участок от плечевого шва до уровня не менее 25–30° к вертикали; на передней поверхности – всю верхнюю поверхность груди также до уровня, где наклон поверхности спереди составляет не менее 8–10° к вертикали.

Ключевые слова: защитные элементы одежды; зона промокания; угол падения воды.

Информация о статье: поступила 8 ноября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

CHARACTERISTICS OF THE SEWING PRODUCT BLOTING PROCESS WHEN EXPOSED TO SPRINKLING IRRIGATION

Olga V. Meteleva, Lyudmila I. Bondarenko

Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation

ABSTRACT

Anticipated weather conditions should be taken into account when designing water protection products for employees whose professional activities are carried out outdoors. The dimensions of the protective elements are unified or standardized disregarding the most likely area of water impact on the parts of the products. The influence of the inclination angle of areas of the clothing surface, including those with seams, on the duration of their wetness was experimentally investigated. The experiment was conducted using a specially created and patented installation.

Research findings indicate that the angle of the surface portion of the article in space, taking into account the direction of the water flow, significantly affects its resistance to blotting. The duration of the soaking time is minimal in those areas of the garment where water falls at angles from 60° to 90° to the surface. Joint seams shall not be located in these areas. Thread seams of all types of structures get wet faster than fabric. Vertical joints are more resistant to blotting.

The relationships of the average rate of change of the wet area from the angle of inclination to the vertical on each of the investigated sections were analyzed. The analysis demonstrated that it is necessary to take into account the maximum angle of fall of water on the inclined surface of clothing. He showed that it is necessary to take into account the maximum angle of fall of water on the inclined surface of clothing. The minimum zone of probable wetness protected by pads has been determined: on the back it should include the shoulder section from the shoulder seam to the level of at least 25–30° to the vertical; on the front surface – the entire upper surface of the chest also to a level where the slope of the front surface is at least 8–10° to the vertical.

Keywords: protective elements of clothing; blotting zone; water drop angle.

Article info: received November 8, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

Во многих отраслях промышленности воздействие воды на поверхность спецодежды происходит в виде атмосферных осадков. При этом наиболее промокаемой поверхностью во всех изделиях является опорная поверхность плечевой одежды. Для повышения защитного эффекта на верхних участках поверхности одежды обычно располагают защитные накладки. Анализ моделей спецодежды промышленных коллекций различных производителей показал, что размеры защитных элементов на опорной поверхности следующие: ширина настрочных плечевых накладок – 6–10 см, положение линии горизонтального членения (кокетки) по высоте 20–23 см на передке и 16–28 см на спинке, накладные детали плечевой поверхности закрывают плечевые швы вдоль по длине на 17,5–19 см и часто выполнены из водонепроницаемых материалов.

Для проектирования спецодежды используют унифицированные по размерам защитные накладки. При этом они не являются обязательным элементом в защитной одежде, и их размеры не учитывают наиболее вероятной области воздействия воды в изделии. Не известно оснований, по которым были приняты решения об унифицированных параметрах защитных накладок.

Цель исследования: определение площади зоны вероятного промокания плечевого изделия с учетом угла воздействия воды и пространственного расположения поверхности одежды для проектирования дополнительных защитных накладок.

Методы исследования. Зону намокания опорной поверхности плечевых изделий определяли на примере куртки мужского защитного всепогодного рабочего костюма 176-100-88 из

хлопчатобумажной саржи арт. 856 (100 % ВХ). Изделие из хлопчатобумажного волокна без защитной отделки выбрано, т.к. материал, не обладающий защитными свойствами, позволяет легко идентифицировать зону намокания и ее границы.

В результате воздействия имитации дождя различной интенсивности с помощью смонтированной для исследований дождевальной установки получены площади намокания основных деталей. Дождевальная установка, описание которой представлено в [1], дополнена манекеном торса мужской типовой фигуры, соответствующего размерам куртки. Манекен был дополнен манекеном головы и был установлен на вращающейся подставке строго по центру головки душа. Головка душа размещалась на вертикальной оси манекена на расстоянии 105 см до линии плеч манекена. Для оценки влияния гигроскопических свойств материала на процесс намокания, в качестве имитатора осадков использован сухой мел в виде порошка в количестве 150 г. Экспериментальная установка позволила моделировать процесс намокания одежды под воздействием вертикально падающего дождя и наклонного падения дождевых струй, имитирующих изменение угла наклона дождевого потока под действием слабого ветра в интервале 0°... 60° (для мелового порошка исследования проведены только при вертикальной подаче). Движения человека и изменения его траектории движения моделировали путем вращения манекена со скоростью 6 об/мин, что соответствует поворотам человека в одежде в пространстве при изменении траектории движения по отношению к воздействию дождевого потока. Расход воды и ее напор в системе оставались неизменными – соответственно

5 л/мин и 202,65 кПа, что соответствовало средней интенсивности дождя пояса умеренного климата. Продолжительность дождевания составляла максимально 60 с интервалом 5 с. Экспериментально было установлено, что в течение 25 с времени дождевания площадь намокания переда и спинки увеличилась заметно, а затем, при увеличении времени дождевания от 25 с до 60 с ее изменение находилось в пределах погрешности измерений. При этом в большой степени наблюдалось промокание изделия, поскольку материал изделия обладал высокими гигроскопичными свойствами.

Через каждые 5 с границы зоны намокания деталей фиксировали маркером на выполненных из прозрачной пленки шаблонах деталей переда и спинки, затем переносили на лекала. В результате определяли площадь намокания опорных участков переда и спинки с помощью пакета программ «Раскрой-16» рационального раскроя листовых материалов на ПЭВМ. Погрешность отклонения при расчете площади намокания детали не превышала $\pm 0,01 \text{ мм}^2$.

Для измерений времени промокания узлов опорной поверхности плечевой одежды использовали специально созданную экспериментальную установку [1]. Во всех исследованиях на образцы воздействовали отдельной струей падающей воды при неизменном расходе воды 0,030 л/мин при постоянном напоре 80 кПа [2, 3]. На выходе из форсунки диаметр струи был равен 0,8 мм, высота размещения форсунки по отношению к исследуемым образцам (до центра датчика промокания) составляла 18,5 см. Датчик выключения (промокания) установки соединен с блоком выключения секундомера, измеряющего продолжительность воздействия водяной струи, и установлен с возможностью изменения его положения в пространстве относительно горизонтали. Датчик выключения представляет собой плоскую пластину, выполненную из фольгированного медью стеклотекстолита, на котором способом фотохимпечати вытравлены дорожки шириной 0,3 мм с зазором между ними 2 мм (для предотвращения окисления меди дорожки обработаны сплавами на основе олова). Исследовали размещенные под углом участки поверхности одежды, в том числе со швами, в соответствии с их ориентацией на торсе манекена,

и определяли продолжительность времени их промокания. Для исследований времени промокания участков одежды использована хлопчатобумажная саржа арт. 856 (100 % ВХ), но подвергнутая водоотталкивающей отделке в процессе заключительной обработки.

Углы наклона исследуемых участков поверхности изделия к вертикали измеряли по поверхности манекена типовой мужской фигуры 176-100-88, одетой в экспериментальное изделие, с помощью угломера с нониусом тип 2 мод. 127 [4] (основная погрешность измерений инструмента равна $\pm 2'$ [5]).

Процесс проектирования защитных изделий для использования их в качестве спецодежды и непромокаемой бытовой одежды может быть более обоснованным при возможности учета вероятных погодных условий. Анализ результатов метеорологических наблюдений за климатическими условиями г. Иваново [2] позволил установить, что всего за год в среднем наблюдается 187 дней с осадками, и в течение года выпадает около 607 мм осадков. Обложные осадки преобладают, они составляют 62...70 % всех осадков. Средняя продолжительность дождя в течение одного дня может составлять 3...6 часов. Дожди с интенсивностью 0,10...1,49 мм/мин (слабый дождь) наиболее вероятны в Ивановском районе.

Известно, что с увеличением размера капель дождя увеличивается скорость их падения. Так, при увеличении радиуса капель в интервале 0,05...3,00 мм скорость их падения растет от 2,7 мм/с до 91,8 мм/с. Сезонное изменение видов осадков и их продолжительность следующие: 136 дней зимой в виде метелей, изморози, мокрого снега, снега, дождя; 21 день весной – дождь, гроза, снег; 61 день летом – гроза, дождь; 33 дня осенью – мокрый снег, снег, гроза, дождь. С увеличением скорости ветра увеличивается доля осадков, сносимых ветром. По имеющимся наблюдениям при скорости ветра 4...6 м/с на стены и на горизонтальные поверхности падает одинаковое количество осадков. Средняя скорость ветра в г. Иваново – 2,8...5,3 м/с. Классификация различных по интенсивности типов дождя (исходя из данных о размере капель и их общего объема) предложена в работе [6].

В результате экспериментальных исследований воздействия дождевого потока на поверхность плечевого изделия установлены границы поэтапного намокания переда и спинки при различных углах падения дождевых струй, перенесенные на развертки соответствующих деталей. Определено изменение во времени площади намокающих участков деталей (рисунок 1, для графических зависимостей указаны в виде формулы $[\pm \Delta(P); p; n]$ соответственно общая абсолютная погрешность измерений; доверительная вероятность; количество измерений). Анализ графических зависимостей позволяет не только увидеть различие площади намокания деталей переда и спинки, расположенных по-разному в пространстве на манекене, в зависимости от угла падения дождевых струй, но и влияние гироскопических свойств материала на значительное увеличение площади намокания деталей.

Такой вывод позволяет сделать сравнение площади покрытия меловым порошком и намокания в результате дождевания деталей при имитации вертикальных осадков. Площадь намокания переда после 25 с дождевания увеличилась более чем в 2 раза по сравнению с имитацией

осадков меловым порошком, соответственно для спинки такое увеличение составило 0,16, что является результатом малой скорости перемещения воды по поверхности переда из-за больших углов наклона ее к вертикали.

Сочетание совместного пространственного взаимодействия двух факторов: расположение исследуемого участка поверхности изделия по отношению к направлению воздействия дождевой струи, – определяет устойчивость к промоканию не материала одежды, а конструктивного решения соединения (рисунки 2, 3).

Установлено экспериментально, что независимо от конструкции и количества соединяемых слоев с учетом погрешности измерений горизонтально расположенные ниточные соединения промокают в 3–26 раз быстрее, чем ткань, подвергнутая водоотталкивающей отделке. Продолжительность времени промокания минимальна и не превышает 1...20 мин, если воздействие воды происходит под углом от 60° до 90° к поверхности настрочных швов, горизонтально размещенных в одежде. В этой зоне не должно быть соединительных швов, а, значит, при их наличии целесообразно использовать дополни-

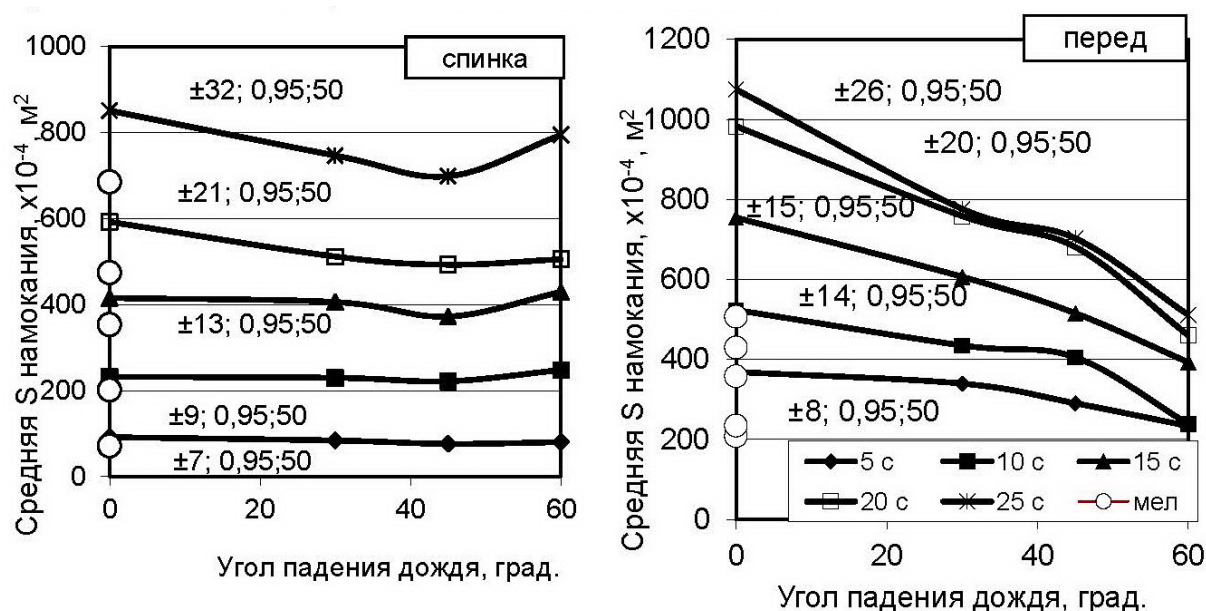


Рисунок 1 – Площадь намокания переда и спинки в процессе дождевания

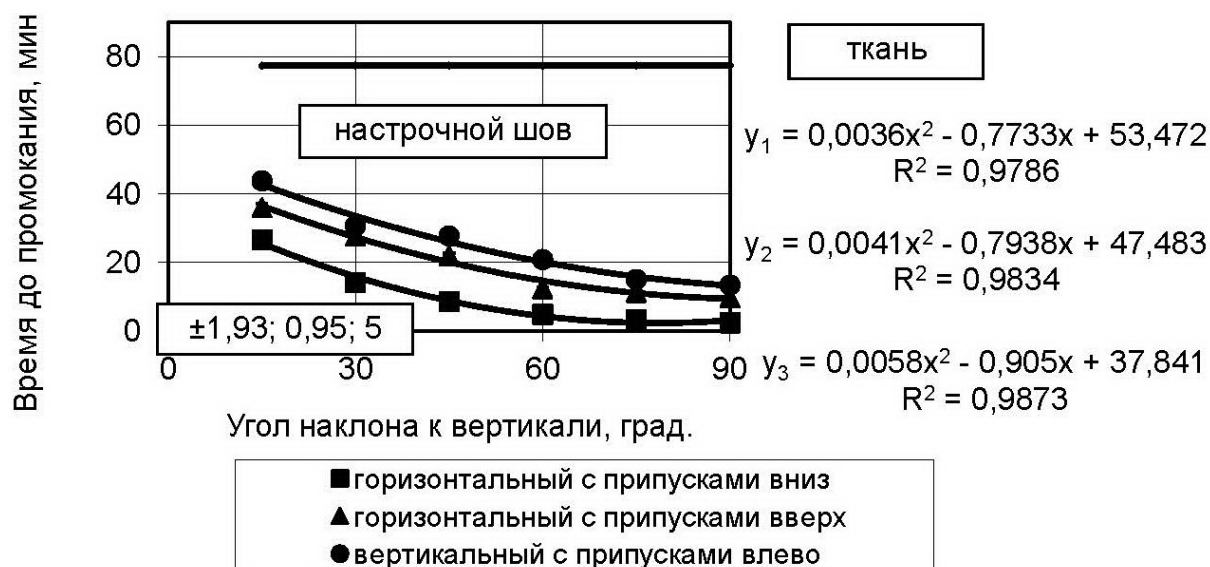


Рисунок 2 – Зависимость времени промокания настрочного шва от угла воздействия воды

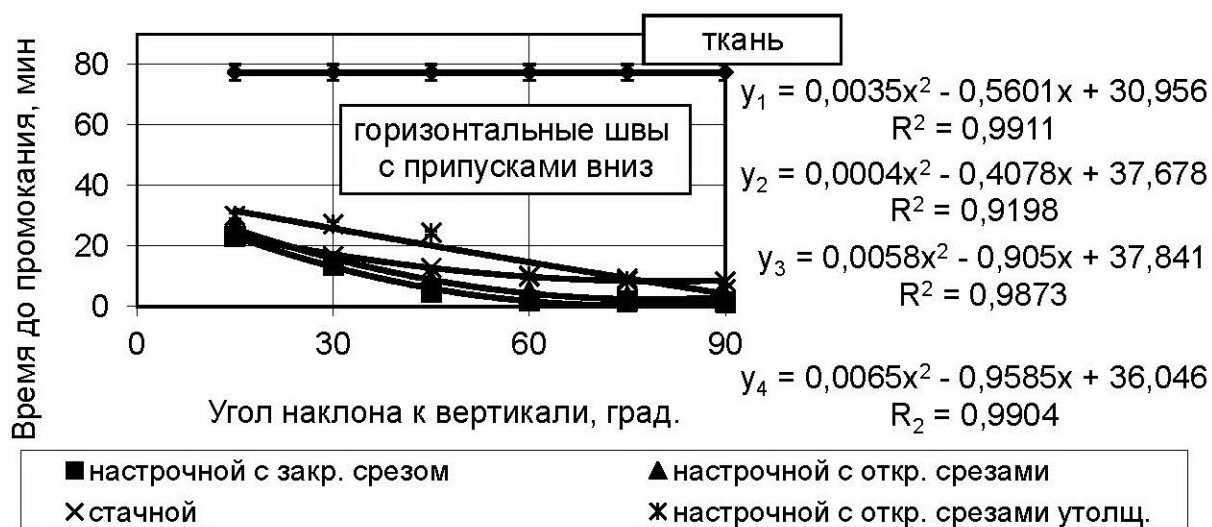


Рисунок 3 – Зависимость времени промокания разных по конструкции швов от угла воздействия воды

тельные защитные накладные детали, закрывая полностью участок, пространственно ориентированный в интервале 60°... 90° к вертикали.

Существенным образом выбор конструктивного решения соединения не влияет на возмож-

ность достижения максимальной устойчивости к промоканию при дождевании. Однако настрочной шов с открытыми срезами, более плотный и толстый, обладает большей устойчивостью к промоканию. Направление припусков соедине-

ний в противоположную сторону к направлению стекания воды обеспечивает более высокий уровень защитных свойств, исключая образование барьера из-за перепада толщины в области шва. При выборе варианта формообразования с помощью конструктивных решений следует отдать предпочтение вертикальным соединениям, как менее уязвимым при воздействии дождя. С учетом полученных результатов исследований могут быть даны следующие рекомендации с целью уменьшения проницаемости для воды в области плечевого узла изделия: целесообразно его полностью обрабатывать с использованием настрочных швов с открытыми срезами (рисунок 4).

Рекомендуется припуски плечевого шва выполнять с настрочиваем на спинку; в изделии с плечевыми швами укороченной или нормальной длины припуски шва втачивания рукава направлять и фиксировать в любом направлении (они будут работать как вертикальные); в изделии со смещением шва втачивания рукава на плечо (удлиненные плечевые швы) припуски шва втачивания рукава настрочивать на перед и спинку.

Таким образом, при проектировании наличия и размеров накладных защитных деталей опорной поверхности одежды необходимо учитывать не только интенсивность воздействия воды, но и расположение деталей в пространстве.

Поверхность одетой фигуры имеет сложный рельеф. Соответственно одетая индивидуальная фигура характеризуется своим набором угловых параметров, поскольку каждый человек имеет индивидуальные особенности строения тела. Однако общий план рельефа поверхности остается неизменным и может рассматриваться в одинаковом наборе угловых параметров. Манекены одежды максимально отражают этот набор, по ним можно определить интервал варьирования угловых характеристик поверхности одежды и использовать их для целей проектирования параметров защитных элементов. Поскольку падение дождевых струй можно характеризовать углом по отношению к вертикали, целесообразно проведение исследований по измерению интервала угловых характеристик изменения рельефа поверхности одежды также к вертикали. В работе измерены углы наклона к

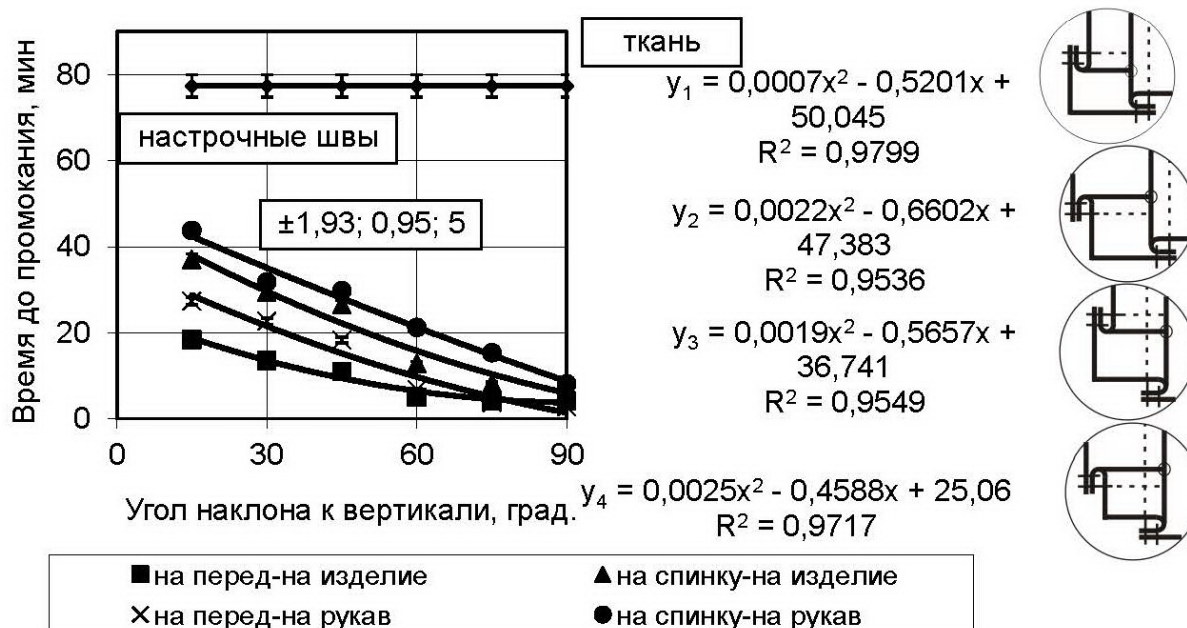


Рисунок 4 – Зависимость времени промокания плечевого узла изделия от угла воздействия воды и способа выполнения настрочных швов

вертикали на границах зон намокания переда и спинки по совмещенной линии абриса, проходящей через выступающую точку груди и лопаток манекена с наложением линии абриса участка вдоль проймы, соответствующего размерным признакам исследуемого плечевого изделия. В этих точках определена скорость намокания, рассчитанная отношением площади намокания к времени дождевания.

На рисунке 5 представлены схематично выделенные характеристические точки изменения рельефа передней и задней поверхностей манекена внутренней поверхности одежды с учетом угла падения струй дождя. Анализ скорости процесса впитывания воды хлопчатобумажной тканью без водоотталкивающей отделки и увеличения площади намокания деталей (рисунок 6) [1] позволяет сделать вывод о большей зависимости динамики процесса потери защитных свойств одежды от угла наклона

поверхности одежды в пространстве, чем от угла падения дождевых струй. Наличие водоотталкивающей отделки для текстильного материала значительно увеличивает водозащитные свойства ткани при уменьшении гигроскопичности: даже хлопчатобумажная ткань способна более долгое время сопротивляться проникновению воды внутрь одежды.

В свою очередь, для не подвергнутой отделке хлопчатобумажной ткани максимальные скорости впитывания воды с максимальным ускорением из-за гигроскопичности материала способствуют уменьшению стекания воды с поверхности одежды под действием силы инерции движения дождевых струй и увеличению вероятности перемещения воды вовнутрь одежды.

В начальный момент времени в точке отсчета (плечевой точке) интенсивность дождевания одинакова, поэтому начальная средняя скорость намокания деталей переда и спинки в исходный момент времени также одинакова. Скорость намокания (увеличения площади намокания) переда в начальный момент времени (через 5 с) уменьшается с $0,0074 \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,0047 \text{ м}^2/\text{с}$, если угол падения дождевых струй увеличивается до 60° , что будет способствовать большей вероятности проникновения воды под одежду. Скорость намокания спинки при вертикальном дожде значительно меньше, чем переда, особенно на начальном этапе (через 5 с в 4 раза: на спинке – $0,0018 \text{ м}^2/\text{с}$, на передаче – $0,0074 \text{ м}^2/\text{с}$). С увеличением времени воздействия дождя это различие уменьшается, но рост площади намокания переда происходит быстрее: объяснить это можно исключительно большим наклоном к вертикали плечевого опорного участка переда, чем спинки. Скорость намокания деталей в зависимости от увеличения угла падения дождя изменяется: увеличивается на спинке с $0,0016 \text{ м}^2/\text{с}$ через 5 с до $0,0032 \text{ м}^2/\text{с}$ через 25 с, в то время на передаче происходит уменьшение скорости увеличения площади намокания с $0,0047 \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,0020 \text{ м}^2/\text{с}$ через 25 с. На детали спинки перемещение границы зоны намокания и увеличение площади намокания происходит с меньшими скоростями, чем на детали переда, т. е. меньше воды имеет возможность задержаться на поверхности верхнего участка детали спинки, создавая условия для более быстрого

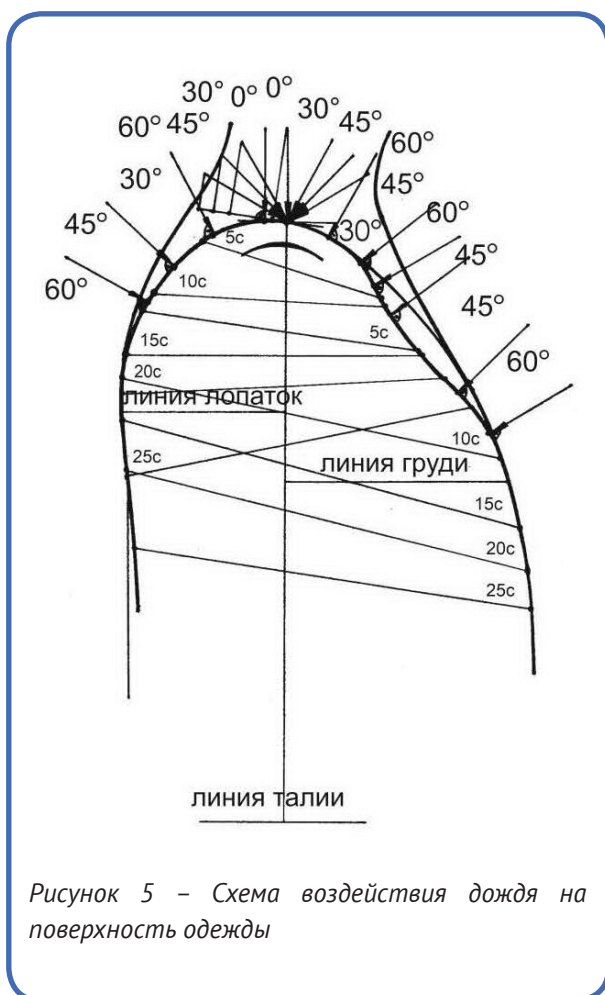


Рисунок 5 – Схема воздействия дождя на поверхность одежды

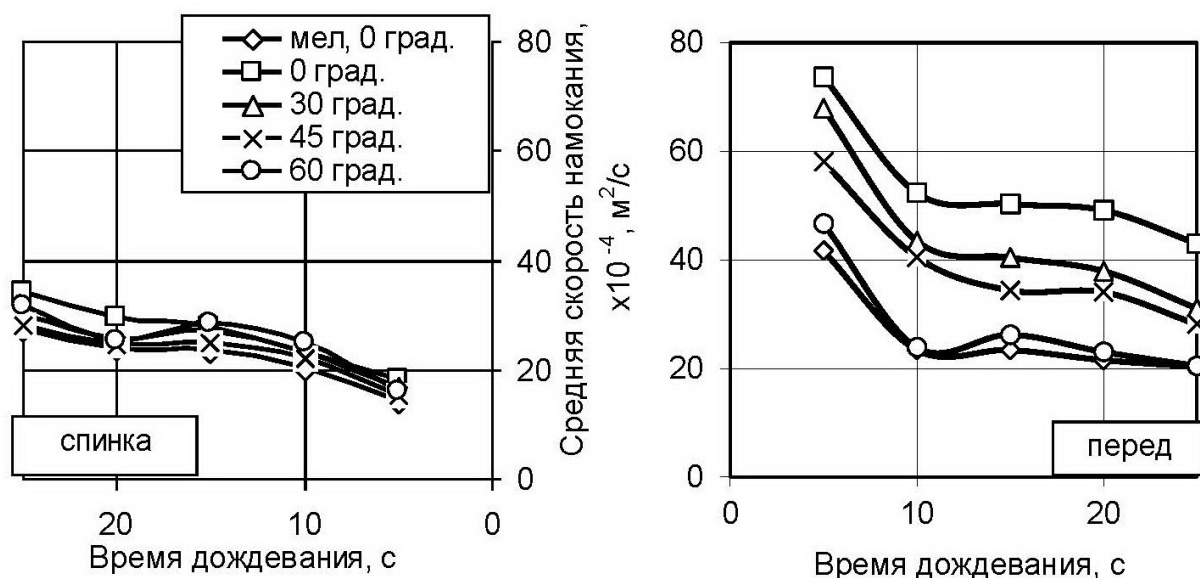


Рисунок 6 – Изменение средней скорости увеличения площади намокания деталей при изменении угла падения дождевых струй

стекания воды на этом участке. На спине средняя скорость перемещения границы намокания на верхнем участке детали переда выше, но она уменьшается со временем и, особенно, с увеличением угла падения дождевых струй – в 3 раза (с $0,0073 \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,0024 \text{ м}^2/\text{с}$) при изменении угла падения дождевых струй в диапазоне $0^\circ \dots 60^\circ$ к вертикали и почти в 2 раза – через 10 с при падения дождевых струй под углом 60° (с $0,0047 \text{ м}^2/\text{с}$ до $0,0024 \text{ м}^2/\text{с}$).

Углы наклона линии абриса поверхности детали переда к вертикали больше, чем детали спинки, но на передаче изменение наклона поверхности одежды происходит более плавно, что приводит к уменьшению скорости перемещения границы намокания. На спинке при меньших углах наклона поверхности к вертикали плечевой участок меньше по длине и более выпуклый, что способствует небольшому увеличению скорости намокания для материала с высокой гигроскопичностью. Он быстро переходит в вертикальную плоскость, что, в свою очередь, способствует более быстрому стеканию воды с поверхности одежды. На деталях переда есть выпуклые участки (центр груди) и вогнутые

(вдоль проймы), что создает условия для уменьшения средней скорости намокания. Средняя скорость намокания при этом на исследованном конечном участке площади намокания детали спинки приближается по величине к средней скорости намокания на таком же участке детали переда, и углы наклона линии абриса поверхностей этих деталей в конечных границах зон намокания в течение 25 с воздействия дождя близки к вертикали.

Таким образом, для спинки и для переда увеличение времени воздействия дождя и угла наклона к вертикали дождевых струй приводит к увеличению площади намокания.

С учетом установленного экспериментально влияния средней скорости изменения площади намокания на защитные свойства одежды, а также ее зависимости от угла наклона к вертикали для проектирования защитной одежды можно рекомендовать увеличение необходимой площади защиты в соответствии с зоной вероятного промокания: на спинке – до уровня 25° ; на передаче – до уровня с наклоном поверхности – $8-10^\circ$. Это значит, что с увеличением размера изделия размеры защитных накладных деталей должны

быть увеличены по высоте и должны закрывать большие по площади участки деталей переда (включая участок вдоль проймы) и спинки.

Таким образом, проектирование дополнительных накладных деталей с учетом границ площади намокания в одежде и вероятных параметров воздействия мокрых осадков будет способствовать сохранению водозащитной способности изделия.

Установлено на основе экспериментальных исследований влияние угла воздействия дождевых струй и пространственного расположения поверхности изделия на площадь зоны вероятного промокания, которая увеличивается с уменьшением скорости стекания воды (увеличением угла наклона поверхности одежды к верти-

кали) и с увеличением угла воздействия дождя. Дополнительные накладные детали на опорной поверхности одежды должны покрывать участки от плечевого шва: на спинке – до уровня расположения поверхности одежды под углом 25–30° к вертикали и соответственно 8–10° – на переде. При этом при отсутствии дополнительных накладок нецелесообразно располагать горизонтальные швы на открытых плечевых участках до уровня 60° к вертикали для максимального сохранения водозащитной способности одежды. Уменьшить снижение водозащитного эффекта возможно за счет дополнительной обработки швов путем применения герметизирующих технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Метелева, О. В., Веселов, В. В., Припеченкова, Н. С. (2002), Метод оценки водоупорности одежды, *Вестник Ивановской государственной текстильной академии*, 2002, № 2, С. 56–60.
2. *Климат Ивановской области*, режим доступа: <https://kurnyavkabox.ru/klimat-ivanovskoi-oblasti-kratko/> (дата обращения 25.10.2023).
3. Ходжаева, Г. К. (2013), *Метеорологические методы и приборы наблюдений: учебное пособие*, Нижневартовск, Изд-во Нижневарт. гос. ун-та, 2013, 189 с.
4. Самохвалов, В. П., Кирилин, А. Н., Вершигоров, В. М., Харитонов, А. В. (2007), *Методы и средства измерения и контроля изделий в машиностроении: учебное пособие*, Самара, Изд-во СГАУ, 79 с.
5. Анисимова, Л. И., Кривоногова, А. С. (2018), *Метрологические характеристики средств измерений и технического контроля геометрических величин: справочник под науч. ред. Б. Н. Гузанова*, 2-е изд., доп. и испр., Екатеринбург, Изд-во Рос. гос. проф.-пед. ун-та, 258 с.
6. Шекихачев, Ю. А., Шомахов, Л. А., Пазова, Т. Х., Балкаров, Р. А., Алоев, В. З., Шекихачева, Л. З., Медовник, А. Н., Твердохлебов, С. А. (2014), Обоснование параметров искусственного дождя, *Научный журнал КубГАУ*, 2014, № 99(05), С. 35–46.

REFERENCES

1. Meteleva, O. V., Veselov, V. V., Pripechenkova, N. S. (2002), Method otsenki vodoupornosti odegdi [Method of assessing the water resistance of clothing], *Vestnik gosudarstvennoy tekstilnoy akademii – Bulletin of the Ivanovo State Textile Academy*, 2002, № 2, pp. 56–60.
2. *Klimat Ivanovskoy oblasti* [Climate of Ivanovo region], (2023), available at: <https://kurnyavkabox.ru/klimat-ivanovskoi-oblasti-kratko/> (accessed 25 October 2023).
3. Khodzhaeva, G. K. (2013), *Meteorological methods and observation instruments, Textbook* [Meteorological methods and observation Instruments. Textbook manual], Nizhnevartovsk, Publishing House Nizhnevart. State Univ., 189 p.
4. Samokhvalov, V. P., Kirilin, A. N., Vershigorov, V. M., Kharitonov, A. V. (2007), *Meteorologicheskiy metodi i pribori nabludeniy: uchebnoye posobie* [Methods and means of measuring and monitoring products in mechanical engineering: textbook. manual], Samara, SSAU Publishing House, 79 p.

5. Anisimova, L. I., Krivonogova, A. S. (2018), *Metrologicheskie harakteristiki sredstv izmereniy I technicheskogo kontroly geometricheskikh velichin* [Metrological characteristics of measuring instruments and technical control of geometric values: reference book scientifically. ed. B. N. Guzanova. 2nd ed., add. and corr.], Ekaterinburg, Publishing house Ros. State prof.-ped. University, 258 p.
6. Shekikhachev, Yu. A., Shomakhov, L. A., Pazova, T. Kh., Balkarov, R. A., Alov, V. Z., Shekikhacheva, L. Z., Medovnik, A. N., Tverdokhlebov, S. A. (2014), Obosnovanie parametrov iskusstvennogo dogdy [Justification of artificial rain parameters], *Nauchniy jurnal KUBGAU – Scientific journal of KubSAU*, 2014, № 99(05), pp. 35–46.

Информация об авторах

Information about the authors

Метелева Ольга Викторовна

Доктор технических наук, профессор, Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация.

E-mail: olmet07@yandex.ru

Бондаренко Людмила Ивановна

Кандидат технических наук, доцент, Ивановский государственный политехнический университет, Российская Федерация.

E-mail: bondarenko.ivanovo@yandex.ru

Olga V. Meteleva

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation.

E-mail: olmet07@yandex.ru

Lyudmila I. Bondarenko

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor, Ivanovo State Polytechnic University, Russian Federation.

E-mail: bondarenko.ivanovo@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ АНТИПИРЕНОВ РАЗЛИЧНОГО ВИДА НА ГОРЮЧЕСТЬ ПОЛИПРОПИЛЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Е.Л. Антонова¹, В.Е. Сыцко¹, В.М. Шаповалов²

¹Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Республика Беларусь

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Актуальность

Важной и актуальной проблемой является повышение огнестойкости полимерных материалов. Горение полимеров является сложным физико-химическим процессом. При изучении процесса горения полимеров выявлено, что самогашение материалов происходит в следствие испарения с поверхности большого количества частиц, не подлежащих горению, а также образование защитных полимерных пленок на поверхности, которые не способны поддерживать горение. Использование антипиренов является важным для прекращения или замедления распространения огня. Разработка ассортимента негорючих полимерных материалов различного назначения является актуальной научно-практической задачей.

Цель работы – изучить влияние наиболее общедоступных и недорогих антипиренов на горючесть и физико-механические свойства полимеров, в частности полипропилена. Была поставлена задача изготовления образцов из полипропилена (ПП) с добавлением антипиренов, для улучшения огнестойкости, методом горячего прессования.

Материалы и методы исследования

Использовали порошкообразный полипропилен и антипирены, такие как:

- гидроксид алюминия (ГОСТ 11841);
- гидроксид магния (ГОСТ 34444);
- борат цинка (ТУ 11307-015-91);
- меламин (ГОСТ 7579);
- полифосфат аммония (ГОСТ 12.1.007).

Исследование физико-механических параметров образцов на прочность и изгиб. Исследование образцов на огнестойкость методом огневой трубы.

Результаты исследования

Наиболее прочными и огнеустойчивыми являются образцы, в состав которых входит меламин. Прочность образца ухудшается при большом количестве добавки в смеси. Для каждого состава необходим определенный режим прессования (время, давление, температура плавления). Среднее время прессования 3–5 минут, оптимальная температура плавления 190–210 °С. Сделан вывод, что наличие в смеси двух или более веществ, способствует достижению большего эффекта в сравнении с эффектами, которые наблюдаются при использовании таких же веществ по отдельности. Так же можно сделать вывод, что наибольший объем применения занимают гидроксиды алюминия и магния. Элементы в огнезащитных составах также реагируют по-разному с огнем. Антипирены должны быть подобраны для каждого типа материала, придавая обработанным материалам максимально возможные огнезащитные свойства.

Ключевые слова: горючесть; полипропилен; антипирены; гидроксиды; огнестойкость.

Информация о статье: поступила 6 сентября 2023 года.

STUDY OF VARIOUS FIRE RETARDANTS ON THE FLAMMABILITY OF POLYPROPYLENE MATERIALS

Alena L. Antonava¹, Valiantsina E. Sytsko¹, Victor M. Shapovalov²

¹Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Republic of Belarus

²V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus

ABSTRACT

This article provides information about additives that are used to reduce the flammability of polymer compositions, in particular, flame retardants. At a certain degree of concentration of flame retardants in the material, the fire stops burning, due to various physical and chemical processes that occur, which do not allow the flame to ignite. The characteristics of the flame retardants used by the authors in their scientific research are given. These flame retardants are the following: aluminum hydroxide, magnesium hydroxide, melamine, zinc borate, ammonium polyphosphate. It has been studied that phosphorus-containing compounds have a plasticizing ability, and are also able to increase the fire resistance of plastics. Under the influence of high temperatures, metal hydroxides decompose. The formation of water dilutes the flammable gases that are released during decomposition, reducing the rate of combustion. The effectiveness of hydroxides depends on their content in the polymer. Magnesium hydroxide is more expensive than aluminum hydroxide, but has a higher heat resistance. Flame retardants are key components in reducing the destructive effects of fire. The addition of flame retardants to plastics increases the fire protection parameters of materials, as well as general safety and stability parameters. The use of flame retardants is important because modern homes, with an increasing number of electronic products, pose a higher risk of fire. Therefore, flame retardants provide protection against the destructive effects of fire of various materials. In turn, flame retardants are capable of providing a high degree of fire protection.

Keywords: flammability; polypropylene; flame retardants; hydroxides; fire resistance.

Article info: received September 6, 2023.

Важной и актуальной проблемой является повышение огнестойкости полимерных материалов. Горение полимеров является сложным физико-химическим процессом. При изучении процесса горения полимеров выявлено, что самогашение материалов происходит в следствие испарения с поверхности большого количества частиц, не подлежащих горению, а также образование защитных полимерных пленок на поверхности, которые не способны поддерживать горение. В данной статье приведена информация о добавках, которые используются для снижения горючести полимерных композиций, в частности такими добавками являются антипирены. При определенной степени концентрации антипиренов в материале, замедляется процесс его горения, благодаря происходящим различным физическим и химическим процессам, которые не дают пламени разгореться. Дана характеристика используемых авторами антипиренов в своем научном исследовании. Этими антипиренами явились: гидроксид алюминия, гидроксид магния, меламин, борат цинка, полифосфат аммония. Изучено, что фосфорсодержащие со-

единения обладают пластифицирующей способностью, а также способны повышать огнестойкость пластиков. Под воздействием высоких температур гидроксиды металлов разлагаются. Образование воды способно разбавить горючие газы, которые выделяющихся при разложении, а также ослабить действие кислорода и уменьшить скорость горения. Эффективность гидроксидов зависит от их содержания в полимере [1].

Для повышения огнестойкости полимеров применяется несколько способов: введение в композицию наполнителей с пониженной горючестью; нанесение на поверхность огнезащитного покрытия; введение огнезащитных добавок – антипиренов. Наиболее эффективным является применение третьего способа. Использование антипиренов является важным для прекращения или замедления распространения огня. Задержка вспышки уменьшает скорость и интенсивность горения и увеличивает количество времени для ликвидации возгорания. Применение огнезащитных составов важно тем, что современные дома с увеличением количества электронных изделий представляют более высо-

кий риск возникновения пожара. Следовательно, огнезащитные составы являются защитой от разрушительного воздействия огня различных материалов. В свою очередь антипирены способны обеспечивать высокую степень огнезащиты. Огнезащитные составы, являются ключевыми компонентами в сокращении разрушительного воздействия огня. Добавление огнезащитных составов в пластмассы, повышает параметры огнезащиты материалов, а также общие параметры безопасности и устойчивости [2].

Следует отметить, что антипирены не являются взаимозаменяемыми. Некоторые антипирены работают сами по себе, другие увеличивают противопожарные преимущества других антипиренов. Разновидность огнезащитных материалов необходима потому, что материалы, которые необходимо сделать огнеупорными, сильно отличаются по своей физической природе и химическому составу, поэтому они ведут себя по-разному во время сгорания.

Согласно закономерности горения полимеров, после того, как установился стационарный режим горения вблизи источника зажигания, в зависимости от условий окружающей среды (от концентрации кислорода, давления, температуры, скорости набегающего потока), теплофизических и термохимических свойств, геометрии образца и др., могут реализоваться два случая. Пламя либо локализуется, либо распространится по поверхности полимерного материала, что приведет к увеличению очага горения и полному охвату пламенем горючего материала. Поскольку точное решение двумерной задачи распространения пламени не представляется возможным, существует ряд приближенных моделей. Обычно задачу о распространении пламени по поверхности полимерного материала разделяют на два случая. Первый случай соответствует распространению пламени по поверхности образца из полимерного материала, толщина которого намного больше толщины прогретого слоя. Такие материалы принято относить к термически толстым топливам. Второй случай — когда толщина полимерного образца сравнима с толщиной прогретого слоя — это термически тонкие материалы. Кроме того, теплообмен пламени с поверхностью полимера сильно зависит от направления скорости потока окислителя по от-

ношению к скорости распространения пламени [3].

Авторами был проведен эксперимент, целью которого стало изучение влияния наиболее общедоступных и недорогих антипиренов на горючесть и физико-механические свойства полимеров, в частности полипропилена. Была поставлена задача изготовления образцов из полипропилена (ПП) с добавлением антипиренов, методом горячего прессования для изготовления плит ДПК, применяемых в строительстве [4]. Первоначально был определен состав содержания компонентов, масс.% (таблица 1).

Использовали такие антипирены как:

- гидроксид алюминия (ГОСТ 11841);
- гидроксид магния (ГОСТ 34444);
- борат цинка (ТУ 11307-015-91);
- меламин (ГОСТ 7579);
- полифосфат аммония (ГОСТ 12.1.007).

Когда в материале присутствуют антипирены, обработанные огнезащитными составами, они могут действовать тремя основными способами, чтобы остановить процесс горения:

1. Прерывать стадию горения огня.
2. Ограничивать процесс декомпозиции.
3. Разбавлять горючие газы и концентрации кислорода в зоне пламени путем испускания воды, азота или других инертных газов.

На сегодняшний день антипирены широко применяются в технологическом процессе, это указывает не только на высокий спрос, но и на наличие устойчивого научного прогресса в плане развития не только существующих антипиренов и огнезащитных составов, но в производстве новых препаратов, обеспечивающих высочайший уровень огнезащиты в обработанных поверхностях и материалах.

Одним из основных технологических направлений являются строительные материалы, к ним относятся:

- Кровельные компоненты
- Электрические провода и кабели
- Изоляционные материалы
- Краски и покрытия, применяемые к различным строительным материалам, включая стальные конструкции, металлические листы, дерево, гипс и бетон
- Композитные панели
- Изделия из конструкционной и декоратив-

Таблица 1 – Составы композиций на основе полипропилена с добавлением антипиренов

Образец №	Содержание компонентов, масс. %					
	ПП	Al (OH) ₃	Mg (OH) ₂	C ₃ H ₆ N ₆	2ZnO·3B ₂ O ₃ ·3,5H ₂ O	(NH ₄ PO ₃) _n
1	75	15			10	
2	60	30			10	
3	50	45			5	
4	40	60				
5	75		15		10	
6	60		30		10	
7	50		45		5	
8	40		60			
9	60			30	10	
10	60			30		10
11	60			40		

ной древесины [5].

Условия проведения эксперимента: гранулы полипропилена были измельчены при помощи жидкого азота в ножевой мельнице. Предварительно взвешивали и смешивали полипропилен с антипиренами. Затем состав засыпали в формы 150x35 мм. Температура пресса устанавливалась по датчику от 190 до 230 °С, данная температура выбрана исходя из анализа данных технологических регламентов производства. Плотность варьировалась от 15 до 50 ед. (0.7–2.2 Мпа), время выдержки составляло 3–5 минут. Полученные образцы остывали и в дальнейшем проводились физико-механические испытания. На рисунке 1 представлены образцы смешанного измельченного полипропилена с антипиренами.

На рисунке показано, что фракция антипиренов достаточно крупная, это говорит о плохом смешивании компонентов между собой и необходимости предварительного просеивания антипиренов. Видны следы выстрелов газов из пресс-форм. Тем не менее образцы являются достаточно прочными.

Над изготовленными образцами были проведены физико-механические испытания. Измерялись: ширина (мм), толщина (мм), сила (**H**), прочность на изгиб (Н/мм²), модуль упругости (Н/мм²). Прочность при изгибе является мерой, показывающей, насколько хорошо материал со-

противляется изгибу, или какова жесткость материала. Во время действия изгибающей нагрузки в образце действует целая комбинация разнонаправленных (растягивающих и сжимающих) сил. Характеристикой материала, подверженного изгибающим нагрузкам, выступают значения максимального напряжения и деформации на наружной поверхности образца. Прочность образцов на изгиб показана в таблице 2.

Минимальное значение показателя прочности на изгиб – 10.18 Н/мм² (образец № 3), максимальное значение – 37.86 Н/мм² (образец № 10). По модулю упругости 8 образцов, минимальное значение – 1142.97 Н/мм² (образец № 3), максимальное значение – 5722.28 Н/мм² (образец № 10).

Далее проводилось исследование внутренней плотности образцов. Измерялись: длина (мм), ширина (мм), толщина (мм), масса (г), поверхностная плотность (кг/м²), плотность (кг/м³). Профиль внутренней плотности рентгеном показан в таблице 3.

Минимальное значение показателя «Поверхностная плотность» – 1.67 кг/м² (образец № 6), максимальное значение – 3.39 кг/м² (образец № 4). Минимальное значение показателя «Плотность» – 648 кг/м³ (образец № 8), максимальное значение – 1111 кг/м³ (образец № 3).



Рисунок 1 – Образцы измельченного полипропилена с антипиренами

Таблица 2 – Изгиб исследуемых образцов

Образец №	Ширина	Толщина	Сила	Прочность на изгиб	Модуль упругости
	мм	мм	Н	Н/мм ²	Н/мм ²
1	51.40	2.59	41	24.97	-
2	51.74	3.55	68	21.90	2963.55
3	53.81	4.06	43	10.18	1142.97
4	51.22	3.56	37	11.97	-
5	50.12	3.22	84	33.94	4509.60
6	51.10	2.08	34	32.30	-
7	52.02	4.38	86	18.10	3138.78
8	49.50	4.57	54	10.97	2613.62
9	49.99	3.26	78	30.83	5149.10
10	52.45	2.74	71	37.86	5722.28
11	48.79	3.56	87	29.55	4674.49

Таблица 3 – Профиль внутренней плотности

Образец №	Длина	Ширина	Толщина	Масса	Поверхностная плотность	Плотность
	мм	мм	мм	г	кг/м ²	кг/м ³
1	32.54	38.85	1.99	2.69	2.13	1069
2	39.02	34.03	2.75	3.45	2.60	945
3	41.90	32.32	2.89	4.35	3.21	1111
4	40.59	33.93	3.60	4.67	3.39	942
5	38.19	33.80	3.28	3.65	2.83	862
6	39.50	35.50	1.85	2.34	1.67	902
7	43.61	35.29	4.09	5.09	3.31	809
8	40.57	33.58	4.17	3.68	2.70	648
9	38.77	34.28	2.56	3.36	2.53	988
10	40.43	33.92	2.77	3.82	2.79	1006
11	40.04	34.33	2.95	3.50	2.55	863

Третьим испытанием было исследование образцов на горючесть. К методам исследования горючести полимеров относят:

- кинетические методы исследования горючести;
- тепловые методы исследования горючести;
- температурные методы исследования горючести;
- метод кислородных индексов.

Для предварительной оценки горючести полимерных образцов был использован кинетический метод исследования – «Определение стойкости к действию накала» (ГОСТ 10456-69). При данном методе горючесть полимерного образца определяется качественными показателями от 0 (горючий пластик) до 5 (негорючий), получаемыми замером длины обогреваемой части образца и потери массы образца, спустя 180 секунд соприкосновения с накалившимся стержнем. Так же использовали экспресс-метод «огневой трубы», определяя скорость и характер горения по времени самостоятельного горения и по изменению массы в процессе горения. Высушенный (влажность не более 10 %) и взвешенный (с точностью до 0,01 г) образец (размеры листовых образцов 150 × 45 × 1–10 мм) и подготовленный к испытанию по методу «огневая труба» подвешивают вертикально в центре стальной трубы (165 × 50 × 0,5 мм) так, чтобы нижний конец его выступал

из нижнего края трубы на 5 мм, расстояние от нижнего края образца до кромки горелки (бытовой газ или этанол) 10 мм и поджигают пламенем горелки с угла их торца. Минимальное время, необходимое для поджигания образца, замеряют секундомером, максимальное время обычно составляет 2–2,5 минуты. После поджигания горелку удаляют, замеряют продолжительность самостоятельного горения (или тления) и изменение массы образца. Горючими материалами считают те, которые теряют более 20 % массы и горят после удаления пламени горелки более минуты [6]. Горючесть образцов представлена в таблице 4. Было исследовано: потеря массы (%), повреждение площади (%), группа горючести (Г).

Наибольшая потеря массы у образца № 1 – 52,8 %, наименьшая потеря массы у образца № 4 – 2,3 %. Наибольшее повреждение площади у образца № 1 – 55,2, наименьшее повреждение площади у образца № 10 – 2 %. Все образцы, кроме первого относятся к группе горючести – Г1.

После проведенных физико-механических испытаний образцов сделан вывод, что наиболее прочными и огнестойчивыми являются образцы, в состав которых входит меламин. Прочность образца ухудшается при большом количестве добавки в смеси. Необходима корректировка процентного соотношения компонентов. Для

Таблица 4 – Горючесть образцов

№ образца	масса, г до горения	масса, г после горения	потеря массы, %	площадь, см ²		повреждение площади, %	группа горючести Г
				до горения	после горения		
1	9.01	4.25	52.8	50.7	22.7	55.2	Г2
2	13.23	11.89	10.1	50.7	49	3.3	Г1
3	14.35	12.58	12.3	52.5	49.7	5.3	Г1
4	16.30	15.92	2.3	52.5	50.7	3.4	Г1
5	12.97	-	-	52.5	-	-	-
6	10.63	-	-	52.5	-	-	-
7	17.01	-	-	52.5	-	-	-
8	16.73	15.59	6.8	52.5	48.6	7.4	Г1
9	11.96	11.06	7.5	50.7	47.2	6.9	Г1
10	14.29	13.55	5.2	52.5	51.4	2	Г1
11	13.83	13.25	4.2	50.7	50	1.3	Г1

каждого состава необходим определенный режим прессования (время, давление, температура плавления). Среднее время прессования 3–5 минут, оптимальная температура плавления 190–210 °С. Сделан вывод, что наличие в

смеси двух или более веществ, препятствующих образованию огня, способствует достижению большего эффекта в сравнении с эффектами, которые наблюдаются при использовании таких же веществ по отдельности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кнунянц, И. Л. (1988), *Химическая энциклопедия*, Москва, Советская энциклопедия, 623 с.
2. Макнил, И. К. (1978), *Полимерная наука, Химическое издание*, 1978, № 16, С. 95.
3. Снегирев, А. Ю. (2017), Автокатализ при термическом разложении полимеров, *Деградация и стабильность полимера*, 2017, № 137, С. 151–161.
4. Халтуринский, Н. А., Берлин, А. А., Попова, Т. В. (1984), Горение полимеров и механизмы действия антипиренов, *Успехи химии*, 1984, № 2, С. 53.
5. Зарипов, И. И., Вихарева, И. Н., Буйлова, Е. А., Берестова, Т. В., Мазитова, А. К. (2022), Добавки для понижения горючести полимеров, *Нанотехнологии в строительстве*, 2022, № 14, С. 156–161.
6. ГОСТ 28157 (2018), *Пластмассы. Методы определения стойкости к горению*, Москва, Межгосударственный стандарт, 7 с.

REFERENCES

1. Knunyanc, I. L. (1988), *Himicheskaya enciklopediya* [Chemical Encyclopedia], Sovetskaya enciklopediya, Moscow, 623 p.
2. Maknil, I. K. (1978), *Polymer Science* [Polimernaja nauka], *Himicheskoe izdanie – Chemical Edition*, 1978, № 16 p. 95.
3. Snegirev, A. Yu. (2017), *Autocatalysis during thermal decomposition of polymers* [Avtokataliz pri termicheskom razlozhenii polimerov], *Degradacija i stabil'nost' polimera – Degradation and stability of the polymer*, 2017,

№ 137, pp. 151–161.

4. Halturinskij, N. A., Berlin, A. A., Popova, T. V. (1984), Polymer combustion and mechanisms of action of flame retardants [Gorenie polimerov i mehanizmy dejstvija antipirenov], *Uspekhi himii – Advances in chemistry*, 1984, № 2, p. 53.
5. Zaripov, I. I., Vihareva, I. N., Bujlova, E. A., Berestova, T. V., Mazitova, A. K. (2022), Additives for reducing the flammability of polymers [Dobavki dlja ponizhenija gorjuchesti polimerov], *Nanotekhnologii v stroitel'stve – Nanotechnology in construction*, 2022, № 14, pp. 156-161.
6. GOST 28157 (2018), *Plastmassy. Metody opredelenija stojkosti k goreniju* [Plastics. Methods for determining resistance to combustion], Mezhdgosudarstvennyj standart, Moscow, 7 p.

Информация об авторах

Антонова Елена Леонидовна

Магистр товароведения, аспирант, Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Республика Беларусь.
E-mail: viramaina3@yandex.by

Сыцко Валентина Ефимовна

Доктор технических наук, профессор, Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, Республика Беларусь.
E-mail: val19-10@mail.ru

Шаповалов Виктор Михайлович

Доктор технических наук, профессор, Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь.
E-mail: v.shapovalov@tut.by

Information about the authors

Alena L. Antonava

Master of Merchandising, Postgraduate Student, Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Republic of Belarus.
E-mail: viramaina3@yandex.by

Valiantsina E. Sytsko

Doctor of Science (in Engineering), Professor, Belarusian Trade and Economic University of Consumer Cooperation, Republic of Belarus.
E-mail: val19-10@mail.ru

Victor M. Shapovalov

Doctor of Science (in Engineering), Professor, V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus.
E-mail: v.shapovalov@tut.by

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТДЕЛКИ ЭЛАСТИЧНЫХ КОЖ

Р.Н. Томашева¹, А.Н. Привалов², И.В. Карелина²

¹Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

²Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат», Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Объектами исследования являются эластичные кожи из шкур крупного рогатого скота и технологические процессы их отделки. Предметом исследования является качество полимерных покрытий кож. Цель работы – освоение технологии и оценка качества выполнения технологических процессов отделки эластичных кож.

В работе представлены результаты промышленной апробации технологий заключительной отделки эластичных кож с естественной и шлифованной лицевой поверхностью. Проведена оценка качества выполнения технологических процессов отделки кож по комплексу качественных и количественных показателей. Определена величина адгезии получаемого полимерного покрытия к поверхности кож. Исследовано влияние технологических процессов покрывного крашения на степень изменения гигиенических свойств кожевенных полуфабрикатов. Изучены физико-механические свойства полученных кож на предмет их технологической пригодности и соответствия требованиям нормативно-технической документации. Установлено, что апробируемые в работе технологии отделки лицевой поверхности кожевенных полуфабрикатов позволяют получить готовую кожу достаточного высокого качества, удовлетворяющую по большинству критериев требованиям нормативных документов. Разработаны рекомендации по оптимизации технологии отделки кожевенных полуфабрикатов с целью улучшения качественных характеристик готовых кож.

Промышленное использование апробируемой технологии позволит существенно повысить эффективность производства, расширить номенклатуру выпускаемой продукции и получить дополнительный объем прибыли от производства и реализации новой продукции, пользующейся спросом на рынке.

Ключевые слова: эластичная кожа; кожевенный полуфабрикат; технология отделки; покрывное крашение; полимерное покрытие; технологические параметры; адгезия покрытия; качество покрытия; физико-механические свойства.

Информация о статье: поступила 23 октября 2023 года.

ANALYSIS AND QUALITY EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES FOR FINISHING ELASTIC LEATHER

Ryta N. Tomashava¹, Aliaksei N. Pryvalau¹, Iryna V. Karelina²

¹Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

²Unitary Production Enterprise "Vitebsk Fur Combine", Republic of Belarus

ABSTRACT

The article presents the outcomes of industrial testing of technologies for final finishing of elastic leathers with natural and polished surfaces. The quality of technological processes for finishing leather was assessed using a comprehensive set of qualitative and quantitative indicators. The degree of adhesion of the resultant polymer coating to the leather surface was quantified. The impact of technological finishing processes on the alteration in the hygienic properties of semi-finished leather products was investigated. The physical and mechanical properties of the resulting leathers were examined for their technological appropriateness and compliance with the stipulations of regulatory and technical documentation. It was determined that the technologies tested for finishing the front surface of semi-finished leather products enable the production of high-quality finished leather,

satisfying most criteria outlined in regulatory documents. Recommendations were formulated for optimizing the technology of finishing semi-finished leather products to enhance the quality attributes of finished leather. The industrial application of the tested technology will significantly augment production efficiency, expand the product range and generate additional profit from the production and sale of new products that are in demand on the market.

Keywords: *elastic leather; semi-finished leather product; finishing technology; cover dyeing; polymer coating; technological parameters; coating adhesion; coating quality; physical and mechanical properties.*

Article info: *received October 23, 2023.*

Современные условия развития внутреннего рынка и влияние на него внешнеэкономических связей ставят перед отечественной кожевенной промышленностью целый комплекс задач, связанных с производством высококачественной и конкурентоспособной продукции. Одним из путей решения этой задачи является расширение ассортимента и повышение качества производимых кож за счет применения новых технологий.

К числу наиболее ответственных этапов обработки кожевенных полуфабрикатов, определяющих внешний вид и качество готовых кож, относят этап заключительной отделки, который обеспечивает наибольшую долю добавленной стоимости готовой продукции, играет решающую роль в расширении и обновлении ассортимента выпускаемой продукции.

Заключительная отделка кожи включает в себя ряд технологических операций (шлифование, обеспыливание, разбивка, нанесение лицевого покрытия, прессование, тяжка и пр.), основная цель которых – придание коже желаемых эстетических свойств, прочности, устойчивости к воздействию внешних факторов, долговечности и гигиеничности. В процессе заключительной отделки обеспечивается возможность маскировки дефектов естественной лицевой поверхности кожевенных полуфабрикатов, что существенно улучшает внешний вид и повышает процент использования готовых кож.

В этой связи поиск новых методов обработки и совершенствование существующих технологий представляются одним из наиболее приоритетных направлений научных исследований. Целью данной работы является освоение технологии и оценка качества выполнения технологических процессов заключительной отделки кожевенных полуфабрикатов.

В рамках поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- изучение и анализ существующих технологических схем проведения отделочных процессов при обработке кожевенных полуфабрикатов, применяемых технологических параметров и химических материалов, и выбор рациональных схем обработки, позволяющих обеспечить высокие технологические и потребительские свойства кожи и интенсификацию технологических процессов производства;
- апробация технологии отделочных процессов при обработке кожевенного краста из шкур крупного рогатого скота с применением химических материалов ООО «Шебекинская индустриальная химия» (Россия) и ф. «DOWELL» (Китай);
- оценка качества выполнения отделочных процессов и получаемых покрытий на коже;
- исследование влияния отделочных процессов на физико-механические свойства обрабатываемого кожевенного краста.

Для решения поставленных задач в работе использовались известные инструментальные и аналитические методы и средства исследования. Экспериментальные исследования проводились в лабораториях УО «ВГТУ» и в производственных условиях УПП «Витебский меховой комбинат» (г. Витебск).

Анализ литературных данных по изучаемой проблематике [1–3] показал, что современные подходы к проектированию технологических процессов заключительной отделки во многом определяются качеством исходного сырья и целевым назначением производимых кож, техническими возможностями производства и используемыми для обработки химическими материалами. В настоящее время кожевенные предприятия активно применяют в производстве типовые технологические схемы обработки, раз-

работанные ведущими производителями химических материалов, с учетом их обязательной апробации к конкретным производственным условиям и используемому сырью.

Выбор конкретных технологических схем заключительной отделки кожевенного по-луфабриката обуславливается, прежде всего, качеством его лицевой поверхности, а также спросом на определенные виды кож со стороны потенциальных потребителей готовой продукции (обувных предприятий). Как показал анализ потребностей отечественных обувных предприятий, наиболее востребованными на рынке видами кож в настоящее время являются эластичные кожи и кожи, применяемые для изготовления верха обуви специального назначения. С учётом этого в данной работе для промышленной апробации были выбраны технологические схемы отделки эластичной кожи арт. Наппа с естественной и шлифованной лицевой поверхностью, широко применяемой для изготовления модельной и повседневной обуви массового производства.

Основными требованиями к качеству эластичных кож являются повышенные тягучесть, мягкость и эластичность, невысокая толщина, максимальное сохранение естественного внешнего вида лицевой поверхности кожи. Поэтому для выработки эластичной кожи арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью в партии сырья отбирался наиболее качественный полуфабрикат, который имел минимальное количество дефектов и равномерную окраску в барабане. Для выработки эластичной кожи арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью отбирался полуфабрикат, имеющий на лицевой поверхности незначительные дефекты (небольшие шрамы, царапины, растяжки, оспины, пятна и пр.), которые могут быть скрыты в процессе последующей обработки. Скомплектованные партии полуфабриката направлялись на операции заключительной отделки в соответствии с выбранной технологической схемой.

Экспериментальная апробация технологических процессов заключительной отделки кож выполнялась в производственных условиях УПП «Витебский меховой комбинат». При выполнении заключительных операций отделки по всем апробируемым технологическим схемам применялись химические материалы, рецептуры

отделки и способы нанесения покрытий, рекомендованные ООО «Шебекинская индустриальная химия» и «DOWELL».

Технологическая схема заключительной отделки при выработке эластичных кож арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью представлена на рисунке 1.

Особенностью отделки кож с естественной лицевой поверхностью является полное сохранение их лицевого слоя, имеющего достаточно плотную лицевую мембрану, и нанесение на поверхность кож отделочных покрытий минимальной толщины, обеспечивающих высокое качество кож и максимально сохраняющих их природные гриф и мерю.

Обработка предусматривает предварительное выполнение механических операций разбивки и тяжки, для обеспечения мягкости и эластичности кожи.

Цикл технологических операций покрывного крашения осуществляется в три этапа путем последовательного нанесения на лицевую поверхность следующих слоёв:

1. Предгрунт – наносится для выравнивания лицевой поверхности.

В качестве предгрунта использовалась полимерная композиция, содержащая водную дисперсию казеиновых пигментных концентратов ПК 1014, мягкий компакт для предгрунта RC 3513 и ароматическую полиуретановую дисперсию RU 2089. Предгрунт прочно связывается с поверхностью кожи, образует непрозрачное, наполненное покрытие, обеспечивает хорошие выравнивающие свойства после лёгкого тиснения и разбивки в барабане, способствует улучшению адгезии последующих слоев покрытия, обладает высокой кроющей способностью и эффективно маскирует мелкие дефекты.

2. Слой покрывной краски – основной слой покрытия, обеспечивающий необходимый внешний вид кожи.

Состав полимерной композиции включал компакт на основе полиуретана RC 3315, восковую эмульсию на основе композиции парафиновых восков WAX 5057, водную дисперсию казеиновых пигментных концентратов ПК 1014, неионогенную полиуретановую дисперсию для улучшения адгезии NU 2580 и модификатор грифа для покрытий на водной основе F 8225.

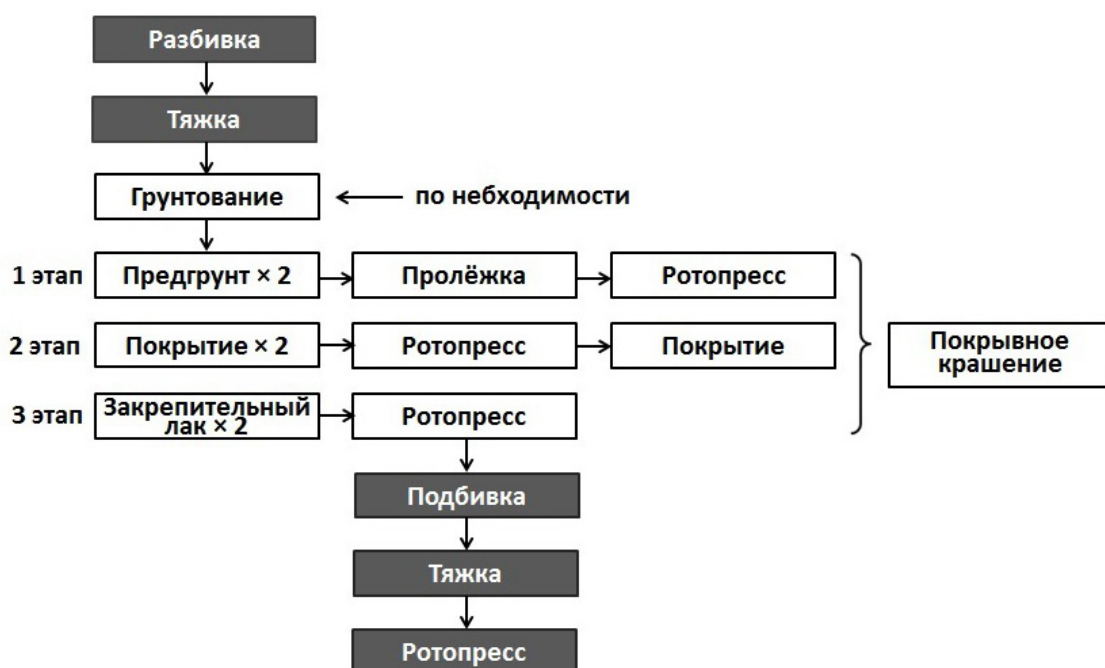


Рисунок 1 – Технологическая схема заключительной отделки кожи арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью

Покрывная краска обладает хорошей проникающей способностью и смачиваемостью поверхности, хорошей полируемостью. Образует тонкую, мягкую пленку, гладкую и приятную на ощупь, с небольшой липкостью и хорошей адгезией.

3. Закрепляющий слой лака на основе нитроцеллюлозной эмульсии Aquasol W 200, придающий покрытию блеск, устойчивость к механическим воздействиям (царапинам, сухому и мокрому трению), действию воды и органических растворителей.

Нанесение каждого слоя осуществляется путем двукратного распыления на поверхность кожи с последующей подсушкой в процессе пролежки и прессованием, для формирования монолитной полимерной пленки и улучшения адгезии покрытия к коже. После цикла операций покрывного крашения осуществляют механические операции обработки «подбивка» и «тяжка» для придания готовой коже требуемой мягкости и эластичности.

Технологические режимы и параметры выполнения операций отделки эластичной кожи

арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью предоставлены в таблице 1.

Разбивка кож осуществляется в подвешном вращающемся барабане с установленными внутри него полками PALUSCO Technologie. Краст загружают в барабан в количестве 1/3 от общего объема барабана. В результате разогрева и ударного воздействия краста о внутренние полки барабана полуфабрикат приобретает повышенную мягкость.

После завершения разбивки в барабане выполняют операцию «тяжка» на проходной вибрационной тянуще-мягильной машине мод. 2Н 2400 CARTIGLIANO для придания полуфабрикату кожи мягкости и эластичности. Кожа, проходит между двумя эластичными лентами, растягивается и изгибается выступами вибрирующих плит.

Распыление полимерных композиций на лицевую поверхность полуфабриката в процессе покрывного крашения осуществляется вращающимися форсунками на автоматическом покрывном агрегате Barnini ROT 1500. После прохождения распылительных форсунок кожа

Таблица 1 – Технологический процесс отделки кожи арт. Hanna с естественной лицевой поверхностью

№	Наименование технологической операции	Технологические режимы выполнения операции	Оборудование и приспособления
1	Разбивка кож в барабане	Время обработки $\tau = 3$ ч. Частота вращения: 15 об./в мин. Температура $T = 35-40$ °C.	Барабан для сухой разбивки PALUSCO Technologie
2	Тяжка	–	Тянульно-мягчи́льная машина mod. 2H 2400 CARTIGLIANO
3	Распыление адгезионного грунта (по необходимости). Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление $P = 0,7$ бар. Скорость ленты $v = 15$ м/мин. Скорость вращения карусели $v = 23$ м/мин. Скорость ленты сушки $v = 10$ м/мин. Температура $T = 100$ °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
4	Распыление предгрунта два раза. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление $P = 0,7$ бар. Скорость ленты $v = 15$ м/мин. Скорость вращения карусели $v = 23$ м/мин. Скорость ленты сушки $v = 10$ м/мин. Температура $T = 100$ °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
5	Пролёжка	Время $\tau =$ не менее 4-х часов	Поддоны
6	Прессование на ротопрессе	Температура $T = 90$ °C. Давление $P = 60$ кг. Скорость $v = 6$ м/мин.	Проходной пресс с тремя валами Mostardini W3
7	Распыление покрытия два раза. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление $P = 0,7$ бар. Скорость ленты $v = 15$ м/мин. Скорость вращения карусели $v = 23$ м/мин. Скорость ленты сушки $v = 10$ м/мин. Температура $T = 100$ °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
8	Прессование на ротопрессе «Зеркало»	Температура $T = 90$ °C. Давление $P = 40-50$ кг. Скорость $v = 8$ м/мин.	Проходной пресс Rotopres CLX
9	Распыление покрытия один раз. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление $P = 0,7$ бар. Скорость ленты $v = 15$ м/мин. Скорость вращения карусели $v = 23$ м/мин. Скорость ленты сушки $v = 10$ м/мин. Температура $T = 100$ °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
10	Распыление закрепительного лака два раза. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление $P = 0,7$ бар. Скорость ленты $v = 15$ м/мин. Скорость вращения карусели $v = 23$ м/мин. Скорость ленты сушки $v = 10$ м/мин. Температура $T = 100$ °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
11	Прессование на ротопрессе «Зеркало»	Температура $T = 95$ °C. Давление $P = 30$ кг. Скорость $v = 9$ м/мин.	Проходной пресс Rotopres CLX
12	Подбивка в барабане	Время $\tau = 30$ минут	Барабан для сухой разбивки PALUSCO Technologie
13	Тяжка	–	Тянульно-мягчи́льная машина mod. 2H 2400 CARTIGLIANO
14	Прессование на ротопрессе «Зеркало»	Температура $T = 100$ °C. Давление $P = 25$ кг. Скорость $v = 9$ м/мин.	Проходной пресс Rotopres CLX

перемещается в сушильную камеру. Расход полимерной композиции определяется с учетом установленных режимов работы технологического оборудования.

Операцию «прессование» осуществляют для запечатывания покрытия в структуре кожи, формирования монолитной полимерной пленки и улучшения адгезии покрытия к коже. Прессование кож осуществляется на проходных прессах Mostardini W3 нагретыми металлическими валами с рисунком. В апробируемом варианте технологии для кожи арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью применяется вал с тиснением «песок». Данное тиснение имеет мелкомерийную фактуру, которая позволяет придать покрытию на коже естественный внешний вид. Прессование «зеркалом» осуществляется на проходном прессе Rotopres CLX с помощью гладкого нагретого металлического вала с зеркальной поверхностью, не имеющей рисунка тиснения. Это позволяет придать поверхности кожи глянец.

Технологическая операция «подбивка в барабане» выполняется для повышения мягкости

готовой кожи, которая могла уменьшиться вследствие уплотнения структуры кожи в процессе прессования. Технология выполнения операции аналогична операции «разбивка в барабане», но выполняется при значительно меньшем времени.

Технологическая схема заключительной отделки эластичных кож арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью представлена на рисунке 2.

Особенностью отделки кож со шлифованной лицевой поверхностью является частичное удаление лицевой мембраны с поверхности кожи, в результате чего открывается большое число крупных пор, увеличивается шероховатость и резко возрастает впитывающая способность поверхности кожи. Это приводит к необходимости большего расхода химических материалов при отделке, увеличения плотности и количества наносимых слоёв покрытия.

Обработка предусматривает предварительное выполнение механических операций шлифования и обеспыливания для скрытия дефек-

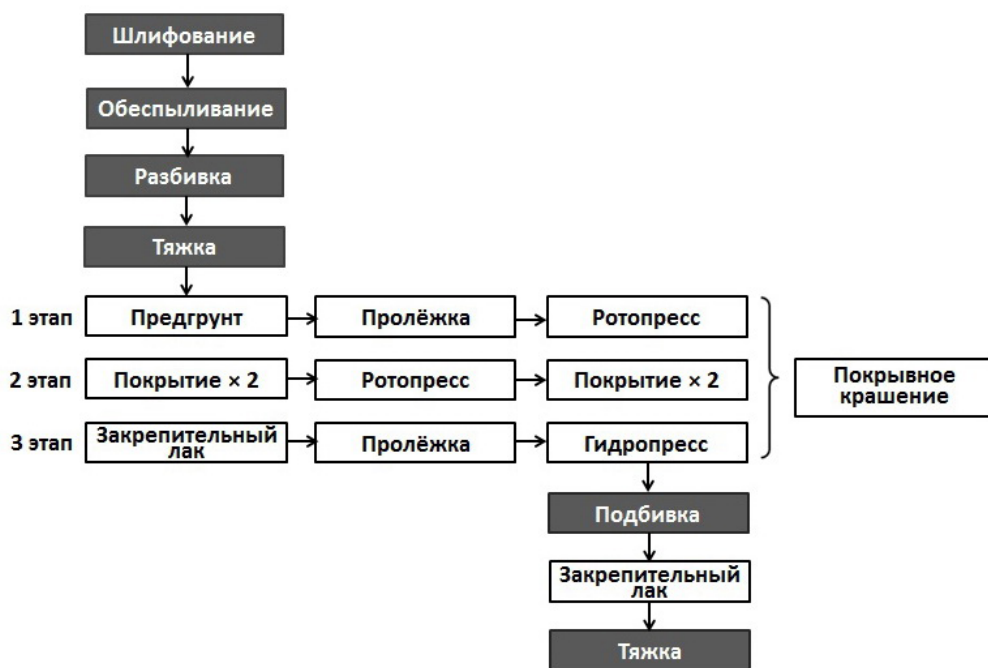


Рисунок 2 – Технологическая схема выполнения отделки кож арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью

тов лица, а затем разбивки и тяжки, для обеспечения эластичности кожи. Шлифование лицевой поверхности кож осуществляют однократно абразивным полотном с мелкой зернистостью № 280 на шлифовальной машине mod. HYDRO BLITZ TM «BERGI OFB».

Цикл технологических операций покрывного крашения, как и в случае отделки кож с естественной лицевой поверхностью, осуществляется в 3 этапа путем последовательного нанесения на лицевую поверхность слоёв: предгрунта, покрывной краски и закрепительного лака. Однако технология нанесения слоев покрытия и рецептура применяемых полимерных композиций существенно отличаются.

Предгрунт наносится для наполнения и закрытия вскрытой в результате шлифования поверхности кожи, создания основы для последующих слоев покрытия, выравнивания различной по топографическим участкам всасывающей способности и цвета кожи, максимального закрытия пороков лица. В состав полимерной композиции для предгрунта, помимо указанных ранее компонентов, дополнительно входит полимерный компакт для предгрунта для шлифованных кож RC 3215, который обеспечивает умеренное пропитывание и хороший «запечатывающий» эффект, обладает хорошими адгезионными свойствами, улучшает однородность водопоглощения поверхности кожи.

Композиция для слоя покрывной краски включает в свой состав компакт на основе полиуретана RC 3060, восковую эмульсию WAX 5050, водную дисперсию казеиновых пигментных концентратов ПК 1014, неионогенную полиуретановую дисперсию для улучшения адгезии NU 2580 и модификатор грифа для покрытий на водной основе F 8225.

Для верхнего закрепляющего слоя использовалась полимерная композиция на основе нитроцеллюлозной эмульсии Aquasol W 200.

Нанесение предгрунта требуемой толщины осуществляется однократно поливным способом на валичной машине Gemata Starplus-s с последующей подсушкой в сушильной камере туннельного типа TM «ITALPROGETTI» и прессованием.

Нанесение покрывной краски осуществляется путем двукратного распыления на поверхность

кожи с последующей подсушкой и прессованием. Технология выполнения операций «прессование» на ротопresse, «распыление покрытия» аналогична описанной ранее.

В соответствии с приведенной на рисунке 2 технологической схемой верхний слой закрепительного лака наносится в два приёма. Вначале осуществляется однократное распыление закрепительного лака на поверхность кожи с последующей пролежкой в течение не менее 4-х часов и прессованием на гидравлическом прессе Mostardini MP 3 TSX, что обеспечивает придание чёткого рисунка лицевой поверхности кожи. На гидропрессе устанавливают плиту с пылевидным рисунком. Затем выполняется операция «подбивка» в барабане для придания готовой коже требуемой мягкости и эластичности, заключительное нанесение слоя закрепительного лака путём распыления и окончательное прессование лицевой поверхности кожи на ротопresse. Технология выполнения данных операций описана ранее.

Технологические режимы и параметры выполнения операций отделки эластичной кожи арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью предоставлены в таблице 2.

В результате проведенной технологической апробации были получены опытные образцы готовых кож и осуществлена оценка качества выполнения технологических операций отделки с использованием комплекса качественных и количественных показателей.

Качественная оценка выполнения отделочных процессов заключалась в визуальном определении однородности получаемого полимерного покрытия на кожах по площади, равномерности окрашивания и укрывистости полимерной пленки, проверке на наличие видимых дефектов, таких как царапины, складки, неровности и пр.

Количественная оценка качества выполнения процессов отделки осуществлялась по показателям:

- адгезии покрытия к коже в соответствии с методикой, описанной в работе [4];
- устойчивости окраски кожи к сухому и мокрому трению в соответствии с ГОСТ 938.29–77 «Метод определения устойчивости окраски кож к сухому и мокрому трению» на приборе Хайлова;

Таблица 2 – Технологический процесс отделки кожи арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью

№	Наименование технологической операции	Технологические режимы выполнения операции	Оборудование и приспособления
1	Шлифование по лицу один проход	–	Шлифовальная машина mod. HYDRO BLITZ TM «BERGI OFB»
2	Обеспыливание	–	Обеспыливающая установка mod. 3P1800 TM «SPAZZOLATRICE»
3	Разбивка кож в барабане	Время τ = 3 ч. Частота вращения 15 об/мин. Температура T = 35–40 °C.	Барабан для сухой разбивки PALUSCO Tecnologie
4	Тяжка	–	Тянульно-мягчи́льная машина mod. 2H 2400 CARTIGLIANO
5	Нанесение предгрунта. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Частота вращения вала 12 об/мин. Скорость ленты v = 8,5 м/мин. Скорость ленты сушильной камеры v = 10 м/мин. Температура T = 100 °C.	Валичная машина арт. Gemata Starplus-s Сушильная камера туннельного типа TM «ITALPROGETTI»
6	Пролёжка	Время τ = не менее 4-х часов.	Поддоны
7	Прессование на ротопрессе «Песок»	Температура T = 85 °C. Давление P = 80 кг. Скорость v = 6 м/мин.	Проходной пресс с тремя валами Mostardini W3
8	Распыление покрытия два раза. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление P = 0,7 бар. Скорость ленты v = 15 м/мин. Скорость вращения карусели v = 23 м/мин. Скорость ленты сушки v = 10 м/мин. Температура T = 100 °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
9	Прессование на ротопрессе «Песок»	Температура T = 85 °C. Давление P = 50 кг. Скорость v = 6 м/мин.	Проходной пресс с тремя валами Mostardini W3
10	Распыление покрытия два раза. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление P = 0,7 бар. Скорость ленты v = 15 м/мин. Скорость вращения карусели v = 23 м/мин. Скорость ленты сушки v = 10 м/мин. Температура T = 100 °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
11	Распыление закрепительного лака. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление P = 0,7 бар. Скорость ленты v = 15 м/мин. Скорость вращения карусели v = 23 м/мин. Скорость ленты сушки v = 10 м/мин. Температура T = 100 °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
12	Пролёжка	Время τ = не менее 4-х часов	Поддоны
13	Прессование	Температура плиты T = 85 °C. Давление P = 150 кг. Время τ = 3 сек.	Гидропресс Mostardini MP 3 TSX
14	Подбивка в барабане (по необходимости)	Время τ = 30 мин.	Барабан для сухой разбивки PALUSCO Tecnologie
15	Распыление закрепительного лака. Промежуточная подсушка полученной плёнки	Давление P = 0,7 бар. Скорость ленты v = 15 м/мин. Скорость вращения карусели v = 23 м/мин. Скорость ленты сушки v = 10 м/мин. Температура T = 100 °C.	Автоматический покрывной агрегат с сушилкой туннельного типа Barnini ROT 1500
16	Прессование на ротопрессе «Зеркало»	Температура T = 95 °C. Давление P = 25 кг. Скорость v = 9 м/мин.	Проходной пресс с тремя валами Mostardini W3

– устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям (действию растворителей и капель воды) в соответствии с ГОСТ 13310–78 «Красители органические. Методы испытаний красителей для натуральной кожи»;

– устойчивости покрытия к многократному изгибу в соответствии с ГОСТ 13868-74 «Кожа хромовая для верха обуви. Метод определения устойчивости покрытия к многократному изгибу» на приборе ИПК-2М;

– по комплексу показателей физико-механических свойств готовых кож, на величину которых оказывает влияние выполнение операций покрывного крашения.

Визуальная оценка качества полученных образцов готовых кож по завершению отделочных процессов показала, что в результате выполне-

ния обработки по обоим апробируемым технологическим схемам на лицевой поверхности кож было получено однородное по площади полимерное покрытие, все кожи были равномерно окрашены, не отмечалось неровностей, подтеков и наплывов краски на лицевой стороне материала, сохранялся кожеподобный внешний вид кожи. Покрытие на всех кожах обладало высокой степенью укрывистости, на поверхности получаемых кож отсутствовали видимые дефекты. Полученные кожи характеризовались приятной органолептикой.

Результаты испытаний покрытия полученных кож на стойкость к механическим и физико-химическим воздействиям представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка устойчивости покрытия кож к механическим и физико-химическим воздействиям

Наименование показателя	Единицы измерения	Критерии оценки показателя	Оценка показателя для кож арт. Наппа с лицевой поверхностью	
			естественной	шлифованной
1. Устойчивость окраски кож к трению*: – сухому; – мокрому	балл	от 1 до 5 баллов по шкале серых эталонов	5 4	4 4
2. Устойчивость окраски к действию растворителей: – бензин; – этиловый спирт	балл	5 – растворитель не окрашен; 4 – незначительно окрашен; 3 – несколько окрашен; 2 – сильно окрашен; 1 – очень сильно окрашен	4 3	3 2
3. Устойчивость окраски к действию капель воды	–	степень изменения лицевой поверхности кожи после нанесения капель воды и их высыхания	изменения лицевой поверхности отсутствуют	изменения лицевой поверхности отсутствуют
4. Устойчивости покрытия к многократному изгибу	балл	4 балла – отсутствие трещин; 3 балла – мелкая сетка; 2 балла – мелкие трещины без разрушения поверхности кожи и осыпания покрытия; 1 балл – явно выраженная трещина с разрушением поверхности кожи или осыпанием покрытия	4	4

Примечание: *Нормы показателя «устойчивость окраски кожи к трению» в соответствии с ГОСТ 939-2021 «Кожа для верха обуви. Технические условия»: к сухому трению – не менее 4 баллов, к мокрому трению – не менее 3 баллов.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что покрытия, полученные в результате отделки по апробируемым технологиям, характеризуются высокой устойчивостью к многократному изгибу, мокрому и сухому трению, к действию капель воды. В процессе испытаний не отмечалось физических изменений лицевой поверхности кож (коробления, потери блеска, образования пятен, подтеков, изменения окраски и пр.), отсутствовали повреждения лицевого слоя кожи и осыпание покрытия, не происходило значительного окрашивания смежной ткани. По степени стойкости окраски к сухому и мокрому трению полученные кожи соответствовали требованиям нормативным документов.

В тоже время стойкость покрытий к действию различных растворителей отличается. Оба технологических варианта отделки кож обеспечили хорошую стойкость покрытий к действию бензина и недостаточную – к действию этилового спирта.

Величина адгезии покрытия к коже определялась при испытании образцов на расслаивание на универсальной электронной испытательной машине TIME WDW-5 (Китай) с системой компьютерного контроля за ходом испытания, автоматической фиксацией результатов испыта-

ния и записью кривых расслаивания образцов.

Адгезия покрытия (*A*), Н/10 мм, определялась по формуле:

$$A = P_c / h, \quad (1)$$

где P_c – средняя нагрузка при отслаивании покрытия, рассчитываемая как средне-арифметическое значение нагрузок, полученных при испытании образца, Н; h – ширина полоски кожи, $h = 10$ мм.

Графики расслаивания проб представлены на рисунке 3, результаты испытаний – в таблице 4.

В ходе испытаний было установлено, что апробируемая в работе технология отделки кож со шлифованной поверхностью позволяет получить полимерное покрытие хорошего качества с высокими значениями адгезии покрывной пленки к поверхности кожи в сухом и в увлажненном состояниях, удовлетворяющее требованиям нормативных документов. В то же время для кожи арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью показатель адгезии по результатам испытаний не превысил 0,6 Н/10 мм, что не удовлетворяет установленным нормам и характеризует низкую степень адгезии покрытия к коже.

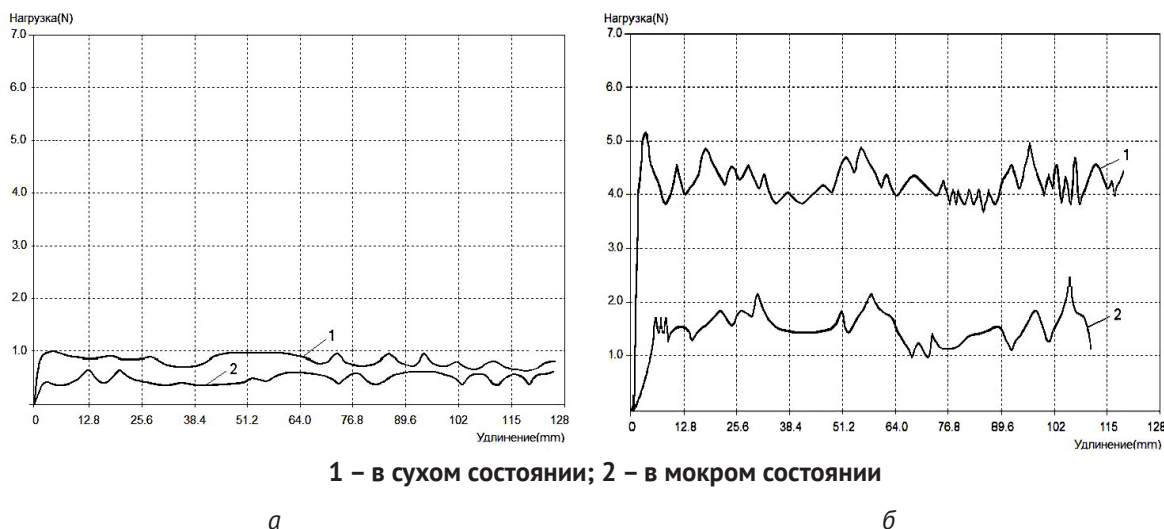


Рисунок 3 – Графики отслаивания отделочного покрытия от поверхности кожи арт. Нанпа:
а – с естественной лицевой поверхностью; б – со шлифованной лицевой поверхностью

Таблица 4 – Значения адгезии покрытия к поверхности кожи

Наименование материала	Величина адгезии покрытия к поверхности кожи, Н/10 мм и характер отслаивания покрытия		Нормы показателя по ГОСТ 939-2021
	в сухом состоянии	в мокром состоянии	
Кожа арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью	0,58 отслоение в виде отдельных фрагментов	0,47 отслоение в виде гладкой пленки	2, не менее
Кожа арт. Наппа с шлифованной лицевой поверхностью	4,48 отслоение в виде отдельных фрагментов	1,66 отслоение в виде отдельных фрагментов	2, не менее
Критерии оценки качества покрытия по показателю адгезия [5]	2,0 – удовлетворительное; 5,0 – хорошее; отрыв покрытия с лицевым слоем – отличное	1,0 – удовлетворительное; 1,5–2,0 – хорошее; более 3,0 – отличное	

Увлажнение образцов приводит к резкому снижению величины адгезии покрытия у кож со шлифованной лицевой поверхностью (в среднем в 3 раза). Покрытие кожи с естественной лицевой поверхностью в меньшей степени подвержено действию влаги.

В большинстве случаев отслоение полимерного покрытия происходило в виде отдельных фрагментов покрытия, различных по площади: максимальных – у кож с естественной лицевой поверхностью в сухом состоянии, минимальных – у кож со шлифованной лицевой поверхностью. Лишь при испытании кож с естественной лицевой поверхностью в увлажненном состоянии наблюдалось отслоение отделочного покрытия в виде сплошной гладкой полимерной плёнки по всей площади образца.

Таким образом, в целом по результатам испытания отмечается низкая адгезия покрытия у кожи арт. Наппа с естественной лицевой поверхностью, что создает предпосылки для пересмотра и внесения изменений в технологическую схему нанесения покрытия для данного артикула кожи и проведения повторных исследований.

Нанесение полимерного отделочного покрытия на поверхность кожи оказывает непосредственное влияние на её способность пропускать различные среды (пар, воздух, воду) сквозь свою структуру и, как следствие, на микроклимат внутриобувного пространства. В связи с этим в работе было исследовано влияние покрытия на изменение основных характеристик гигиениче-

ских свойств кож.

Оценка показателей паро-, воздухопроницаемости и пароёмкости осуществлялась в соответствии с методиками, описанными в работах [4, 6]. При определении водонепроницаемости лицевой поверхности кожи применялся портативный прибор, обеспечивающий испытания проб материалов при заданном гидростатическом давлении, методика испытания на котором описана в работе [7]. Результаты испытаний представлены в таблице 5.

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что в результате нанесения полимерного покрытия на поверхность кож снижается их проницаемость и возрастают сорбционные свойства в среднем в 1,2–1,3 раза. Величина изменения показателей свойств во многом определяется характером обработки лицевой поверхности. Кож с сохранением естественного лицевого слоя показывают лучшие значения паро- и воздухопроницаемости, чем шлифованные. Обусловлено это, прежде всего, тем, что нанесение полимерного покрытия на их поверхность осуществлялось методом распыления, который не создает в отличие от поливного метода сплошной полимерной пленки на поверхности материала, не приводит к плотному запечатыванию пор кожи и позволяет материалу «дышать». Важную роль в данном процессе играет также увеличение кратности нанесения слоев покрытия при отделке кож со шлифованной лицевой поверхностью. Вследствие отличий

Таблица 5 – Показатели гигиенических свойств кож

Наименование показателя	Значение показателей для кож		
	краст без отделки	кожа арт. Напа с естественной лицевой поверхностью	кожа арт. Наппа со шлифованной лицевой поверхностью
1. Паропроницаемость, мг/см ² ·ч	3,8	3,2	2,9
2. Относительная паропроницаемость, %	50,0	42,0	38,0
3. Пароёмкость, %	11,7	14,4	16,2
4. Воздухопроницаемость, см ³ /см ² ·ч	89,0	8,5	0,84
5. Водонепроницаемость при $P = 0,1$ МПа, сек	промокание при зажиме образца и $P = 0,04$ МПа	промокание при зажиме образца и $P = 0,04$ МПа	в течение 2 ч промокание не отмечалось – поверхность водонепроницаема

в технологии обработки кожи со шлифованной поверхностью демонстрируют максимальные влагозащитные свойства и способны длительное время не пропускать влагу со стороны покрытия даже в экстремальных погодных условиях (при давлении водяного столба 10 метров, что соответствует штормовым погодным условиям и проливному дождю).

В целом все реализуемые в работе технологические схемы отделки позволяют обеспечить достаточный уровень гигиенических свойств кож и создать нормальный микроклимат внутри обувного пространства в готовых изделиях.

Для обеспечения полноты качественной характеристики кож, изготовленных по различным технологическим схемам обработки, проводилась оценка физико-механических свойств материалов с использованием стандартных методов испытаний и анализ их соответствия установленным требованиям и нормам.

Графики растяжения проб материалов представлены на рисунке 4. Результаты испытаний представлены в таблице 6.

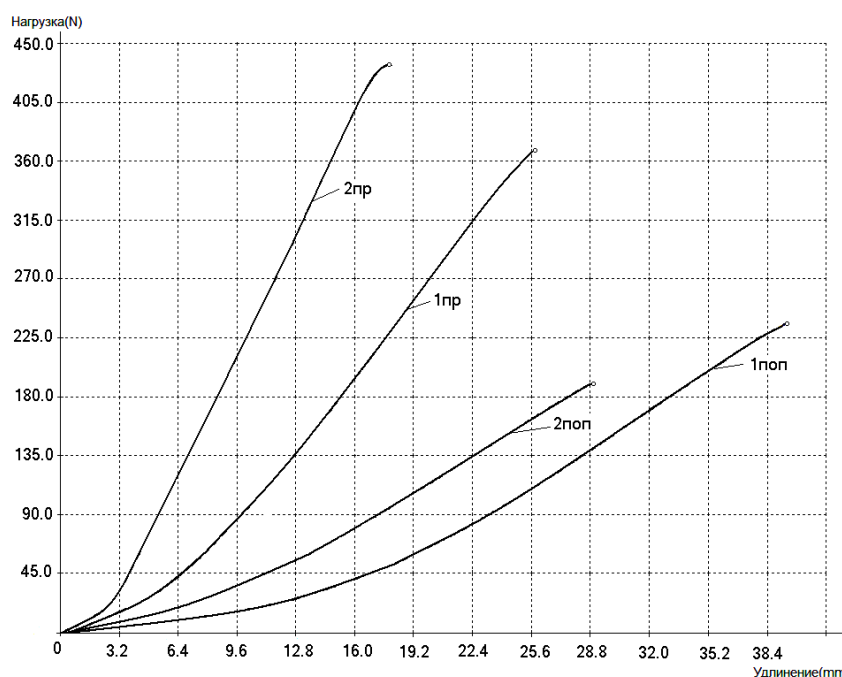
Анализ механических свойств при растяжении исследуемых кож показал, что прочность исследуемых кож колеблется в пределах от 14 до 29 Н/мм² в зависимости от направления раскроя. Данные значения соответствуют требованиям нормативно-технической документации

и обеспечивают технологическую пригодность полученных кож для производства обуви. Отмечается существенная неоднородность механических свойств готовых кож по направлениям раскроя и повышенные значения жесткости в направлении хребтовой линии. Однако объективно проанализировать причины данного явления представляется проблематичным, так как кожевенный полуфабрикат краст поступал на предприятие от сторонних организаций, и отсутствовала входящая информация об особенностях технологии его обработки на более ранних стадиях производственного цикла.

Полученные значения деформационных и упруго-пластических свойств исследуемых видов кож позволяют обеспечить необходимые формовочные свойства заготовок в процессе производства обуви и необходимую формоустойчивость готовых изделий.

У кож со шлифованной лицевой поверхностью отмечаются более высокие значения показателя жесткости при изгибе, по сравнению с кожей с естественной лицевой поверхностью, что может быть связано с увеличением толщины полимерного покрытия вследствие обработки шлифованием и уплотнением структуры кожи в процессе прессования.

Таким образом, комплексная оценка свойств полученных кож показала, что апробируемые



пр – направление вдоль хребтовой линии; поп – направление поперек хребтовой линии

Рисунок 4 – График зависимости «усилие – удлинение» проб кожи арт. Наппа: 1 – с естественной лицевой поверхностью; 2 – со шлифованной лицевой поверхностью

Таблица 6 – Физико-механические свойства кож арт. Наппа с естественной и со шлифованной лицевой поверхностью

Наименование показателя	Значения показателей кожи арт. Наппа				Нормы показателей по ГОСТ 939-2021
	с естественной лицевой поверхностью		со шлифованной лицевой поверхностью		
	вдоль хребтовой линии	поперек хребтовой линии	вдоль хребтовой линии	поперек хребтовой линии	
1. Толщина, мм	1,65	1,65	1,4	1,4	–
2. Предел прочности при растяжении, Мпа	23	14	29	14	13, не менее
3.Удлинение при разрыве, %	52	78	36	58	–
4. Удлинение при напряжении 10 Мпа, %	28	63	15	45	30–55
5. Пластичность, %	41	47	41	51	–
6. Жесткость при растяжении 10 МПа, Н	605	231	602	217	–
7. Жесткость при изгибе методом кольца, Н	0,44	0,28	0,5	0,56	–
8. Упругость при изгибе, %	70	75	40	75	–

в работе технологии отделки лицевой поверхности кожевенных полуфабрикатов позволяют получить готовую кожу достаточного высокого качества, удовлетворяющую по большинству критериев требованиям нормативных документов. С учетом полученных в работе результатов можно рекомендовать апробируемые технологии выполнения процессов отделки к промышленному внедрению. Рекомендуется пересмотреть и внести изменения в технологический процесс покрывного крашения кож с естествен-

ной лицевой поверхностью с целью улучшения адгезии лицевого покрытия к коже и провести повторную технологическую апробацию.

В целом, промышленное использование предлагаемых технологий отделки обувного краста позволит существенно повысить эффективность производства, расширить ассортимент выпускаемой продукции и получить дополнительный объем прибыли от производства и реализации новой продукции, пользующейся спросом на рынке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Островская, А. В., Лутфуллина, Г. Г., Абдуллин, И. Ш. (2020), *Химия и технология кожи и меха: теоретические основы*, Москва, 2020, 162 с.
2. Тошев, А. Ю., Кадиров, Т. Ж., Джураев, А. М. (2015), Процесс структурообразования полимерных пленкообразователей в коже при покрывном крашении. Кожа и мех в XXI веке: технология, качество, экология, образование, *Материалы XI международной научно-практической конференции*, Улан-Удэ, 2015, С. 43–48.
3. *Шебекинская индустриальная химия*, режим доступа: <http://shebkoghim.ru> (дата доступа: 20.10.2023).
4. Чурсин, В. И. (2013), *Химия и технология кожи и меха. Лабораторный практикум : учебное пособие*, Москва, 2013, 72с.
5. Страхов, И. П., Головтеева, А. А., Куциди, Д. А., Санкин, Л. Б. (1983), *Отделка кож : учебное пособие*, Москва, 1983, 360 с.
6. Еремина, И. А., Иванова, Р. А. (1989), *Технический анализ и контроль кожевенного производства*, Москва, 1989, 240 с.
7. Патент РБ No 12855, Республика Беларусь, МПК G01N3/20. Прибор для определения водозащитных свойств материалов методом гидростатического давления : № и 0210283; заявл. 15.10.2021; опубл. 30.04.2022, Бюл. № 2 / Буркин А. Н., Панкевич Д. К., Ивашко Е. И., Терентьев А. А., 1 с.

REFERENCES

1. Ostrovskaya, A. V., Lutfullina, G. G., Abdullin, I. S. (2020), *Himiya i tekhnologiya kozhi i mekha: teoreticheskie osnovy* [Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations], Moscow, 2020, 162 p.
2. Toshev, A. U., Kadirov, T. J., Djuraev, A. M. (2009), Process of structurization of polymeric filming agents in skin at pokryvny dyeing. Leather and fur in the XXI century. Technology, quality, ecology, education, *Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*, Ulan-Ude, 2015, pp. 43–48.
3. *Shebekinskaya industrial chemistry* [Shebekinsky Industrial Chemistry], available at: <http://shebkoghim.ru> (accessed 20 October 2023).
4. Chursin, V. I. (2013), *Himiya i tekhnologiya kozhi i mekha. Laboratornyj praktikum : uchebnoe posobie* [Chemistry and technology of leather and fur. Laboratory workshop : Textbook], Moscow, 2013, 72 p.
5. Strakhov, I. P., Golovtееva, A. A., Kutsidi, D. A., Sankin, L. B. (1983), *Otdelka kozh : uchebnoe posobie* [Leather finishing : textbook], Moscow, 1983, 360 p.
6. Eremina, I. A., Ivanova, R. A. (1989), *Tekhnicheskij analiz i kontrol' kozhevennogo proizvodstva* [Technical analysis and control of tanning production], Moscow, 1989, 240 p.

7. Patent of the Republic of Belarus № 12855, Republic of Belarus, IPC G01N3/20. Device for determining the waterproof properties of materials using the hydrostatic pressure method: № u 0210283; stated 10/15/2021; publ. 04/30/2022, Bulletin № 2 / Burkin A. N., Pankevich D. K., Ivashko E. I., Terentyev A. A., 1 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Томашева Рита Николаевна

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.
E-mail: torin.75@yandex.ru

Привалов Алексей Николаевич

Инженер-технолог, Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат», Республика Беларусь.
E-mail: alekspriv2002@gmail.com

Карелина Ирина Васильевна

Инженер-технолог, Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат», Республика Беларусь.
E-mail: filipowitchirina@yandex.by

Ryta N. Tomashava

Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Clothing and Footwear Design and Technology", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
E-mail: torin.75@yandex.ru

Aliaksei N. Pryvalau

Engineer-technologist, Unitary Production Enterprise "Vitebsk Fur Combine", Republic of Belarus.
E-mail: alekspriv2002@gmail.com

Iryna V. Karelina

Engineer-technologist, Unitary Production Enterprise "Vitebsk Fur Combine", Republic of Belarus.
E-mail: filipowitchirina@yandex.by

ОТДЕЛКА ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ И ПОЛИЭФИРНЫХ ТКАНЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХИТОЗАНСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

М. Тоуфикл Хакк, К. Клинкхаммер, Б. Малтиг

Нижнерейнский университет прикладных наук, Мёнхенгладбах, Германия

АННОТАЦИЯ

С увеличением напряженности повседневной жизни людей выделение пота человеческим телом неуклонно повышается. В связи с этим специалисты текстильной промышленности постоянно разрабатывают новые виды материалов для удовлетворения потребностей потребителей. На сегодняшний день хлопчатобумажные и полиэфирные ткани преобладают среди всех текстильных материалов, которые люди чаще всего используют в повседневной жизни. Текстильные изделия, особенно изготовленные из целлюлозных волокон, таких как хлопок, могут способствовать росту микроорганизмов из-за большой площади контакта с телом человека и высокой гигроскопичности. В отличие от целлюлозных материалов полиэфирные волокна не содержат химически функциональных или гидрофильных групп. При этом использование, как хлопчатобумажных, так и полиэфирных тканей может приводить к появлению нежелательных запахов из-за разложения пота микроорганизмами. Нанесение хитозана на текстильные полотна является перспективным подходом для функционализации текстиля. Известно, что хитозан является популярным отделочным средством благодаря его внутренним свойствам, таким как биосовместимость, биоразлагаемость, нетоксичность, распространенность в природе, антимикробная и антистатическая способность и т. д. В этом исследовании для отделки хлопчатобумажных и полиэфирных тканей был применен раствор хитозана с использованием традиционной технологии «пропитка – отжим – сушка». Исследования тканей осуществлялись с использованием дроп-теста, сканирующей электронной микроскопии и цветовых измерений. В данном исследовании представлен анализ результатов отделки хлопчатобумажных и полиэфирных тканей хитозансодержащими аппретирующими композициями.

Ключевые слова: хитозан; плюсование; крашение; сканирующая электронная микроскопия; СЭМ; дроп-тест.

Информация о статье: поступила 29 мая 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

FINISHING OF COTTON AND POLYESTER FABRICS USING CHITOSAN-CONTAINING RECIPES

Mohammad Toufiqul Hoque, Kristina Klinkhammer, Boris Mahltig

Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Germany

ABSTRACT

With the increased stress in people's daily lives, the secretion of sweat from the human body has steadily increased. Therefore, textile industries continue to introduce various products to meet consumers' demands. Thus far, people use more cotton and polyester fabrics among other textile fabrics in their daily usage or total living period. Textile products, especially those made from cellulose fibers such as cotton, can promote the growth of microorganisms due to their high surface area and moisture retention. In contrast to cellulosic materials, polyester contains no chemically functional or hydrophilic groups. Therefore, it is necessary to ensure wearers' protection as both cotton and polyester can create unwanted odors due to the decomposition of sweat by microorganisms. The application of chitosan on textile substrates is a useful approach for textile functionalization. Chitosan has been reported as a popular finishing agent due to its intrinsic properties, such as biocompatibility, biodegradability,

non-toxicity, abundance in nature, antimicrobial, and antistatic ability, etc. In this study, the solution of chitosan was applied to 100 % cotton and polyester fabrics using a common pad-dry-cure technique. The resulting fabrics were characterized by drop-test, scanning electron microscopy (SEM), and color measurement. Thus, this study presents a small overview of the finishing using chitosan-containing recipes on both cotton and polyester fabrics.

Keywords: chitosan; padding; dyeing; scanning electron microscopy; SEM; drop test.

Article info: received May 29, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

INTRODUCTION

Cotton and polyester fibers play a dominant role in the textile industry. Due to their properties and price, they are the most popular fibers in apparel, home textiles, and industrial textiles [1–4]. In our daily life, our bodies always secrete sweat, enhancing the bacterial growth within the fabric, which can cause unexpected odor and harm human health. It is important to protect the wearers against the escalation of bacteria and diseases [5]. With the increasing awareness of wearers' protection, numerous techniques for the surface modification of cotton and polyester fabrics have been performed to give additional functionalities [6]. Chitin is regarded as the second most abundant polysaccharide resource after cellulose [7]. Chitosan is gained from chitin

through the deacetylation process. Figure 1 shows the chemical resemblance between cellulose, chitin, and chitosan with a 100 % degree of deacetylation. Chitosan contains different amounts of β -(1 $\rightarrow$ 4)-linked 2-amino-2-deoxy- β -D-glucopyranose and 2-acetamido-2-deoxy- β -D-glucopyranose residues [8, 9, 10, 11]. Chitosan is nontoxic, biodegradable, and biopolymer which offers antimicrobial function [12, 13, 14, 15, 16].

It has been reported that chitosan possesses excellent deodorizing, moisturizing, biocompatibility, and other attractive properties [17]. The presence of the amino groups in the structure make chitosan soluble at acidic pH. Further, a lower pH and degree of acetylation favors the antimicrobial function of chitosan [18–20]. The aim of this study is to evaluate

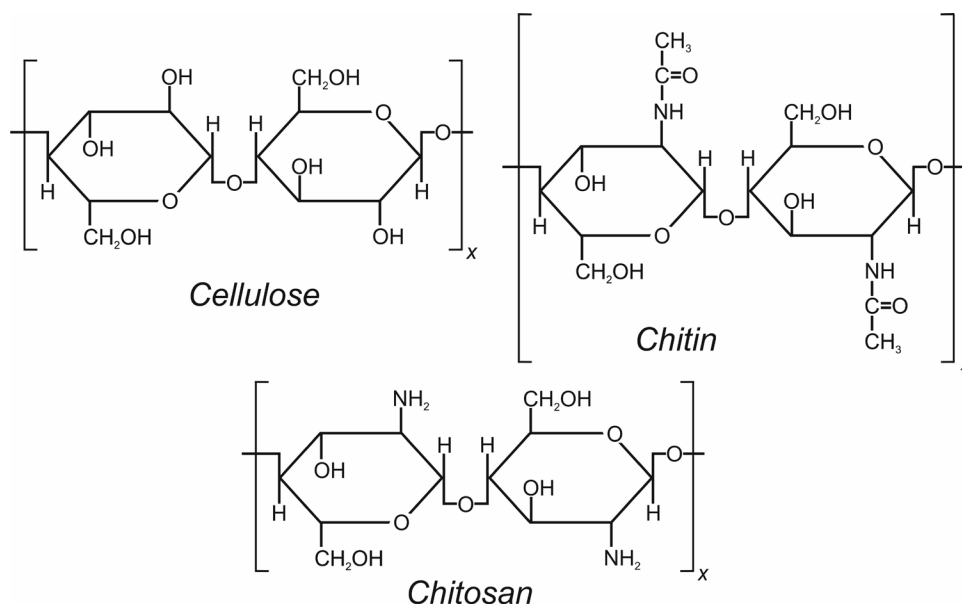


Figure 1 – Comparison of chemical structures of cellulose, chitin, and chitosan

characteristics after finish of cotton and polyester fabrics utilizing chitosan-containing recipes.

MATERIALS AND METHODS

Materials

In this research, different woven cotton and polyester fabrics from the company Technotex GmbH (Lauterbach, Germany) are used. Table 1 shows the description of the woven fabrics used for the experiments. Following chemicals were used: Chitosan with a deacetylation degree of 90 % was purchased from Biolog Heppe® GmbH (Landsberg, Germany), acetic acid from Bernd Kraft GmbH (Duisburg, Germany), and a dispersing agent Dispergator XHT-S from CHT Germany GmbH (Tübingen, Germany).

The padding is performed on a universal padding machine, DL-2500 HV from Feyen Maschinen GmbH (Krefeld, Germany), drying is done using Werner Mathis AG (Zurich, Switzerland)

dryer and a quick dyeing treatment is carried out on a Datacolor Ahiba Pro IR (Marl, Germany) device.

Treatment procedure

Chitosan solutions in 0.5 % concentration were prepared using 250 mL of soft water with 10 mL (w/v) of acetic acid (50 %). The pH value of the acidic solution without chitosan was 1.95. Chitosan powder of 1.30 g was carefully added into the acetic acid solution and stirred until complete dissolution. The pH of the chitosan-containing solution (w/v) was checked before applying between the padding rollers for finishing treatment, which is 2.23. During chitosan treatment on polyester fabrics, similar chitosan concentration was maintained but additionally 10 mL (w/v) of dispersing agent was mixed into the liquor bath. Both cotton and polyester fabrics were cut in size 21.5 cm × 30 cm and weighed to assess the weight gain (%) for before and after treatment.

Table 1 – Fabric description of woven fabrics used for current investigations

Fabric	No. of warp threads/cm	No. of weft threads/cm	Weight per area (g/m ²)
Cotton	18	13	200
Polyester	16.5	14.5	150



Figure 2 – Photographs of used devices – padding, drying, dyeing (from left to right)

Each sample was run through the rollers four times. The padding procedure was done at room temperature and after padding the fabrics were dried at 90 °C for 5 minutes.

For dyeing, a reactive dye, Remazol Brilliant Red F3B (2 %) from DyStar (Raunheim, Germany) was selected for both cotton and polyester samples including a surface active agent TritonX from Carl Roth GmbH + Co. KG (Karlsruhe, Germany). Treated and untreated samples were cut in size 7 cm × 15 cm and placed in the dye pots with solution of the dyeing machine (Figure 2), where the temperature was set to 40 °C for 5 minutes at 30 revolutions per minute. No extra wash cycle was performed after dyeing, but the dyed samples were rinsed with soft water.

Analytical methods

The fabric surface morphology is observed using a scanning electron microscope (SEM) (Tabletop Microscope TM4000, Hitachi, Japan). The hydrophilic properties of treated and untreated woven fabrics are determined by using TEGEWAdropt-test with the Patent Blue V solution (0.2 %). On each fabric, three droplets of the dye solution were applied. For the detection of chitosan presence on the treated-dyed and untreated-dyed fabrics, color measurements are evaluated using a Datacolor 400 spectrophotometer from Datacolor Europe GmbH.

RESULTS AND DISCUSSION

In this study, same chitosan concentration (0.5 %) was implemented for both cotton and polyester fabrics by a universal padding machine. It is a simple process, but uneven distribution of the solution will always be a big issue as the samples are handled and run through the rollers

completely manually. It is not easy to maintain the 100% precision of handwork and similarly liquor between the rollers stays in nonequilibrium state, as fluidity seemed not same for the left, right, and middle. However, the drop-test, color measurement will give small overview of chitosan presence on the fabric surface.

Wet gain assessment

The wet pick-up is determined to support information about the wetting properties of treated fabrics and is calculated using the following equation:

$$\text{Wet pick-up (\%)} = \frac{w - w_0}{w_0} \times 100, \quad (1)$$

here, w is the weight of treated sample and w_0 is the weight of original (untreated) sample.

Table 2 shows the wet pick-up (%) for cotton and polyester fabrics after chitosan-finishing. It is obvious to observe more weight gain for the treated samples and the wet pick-up rate is quite different between cotton and polyester as undoubtedly cotton can absorb and hold more liquid within it.

Surface Analysis

Figure 3 shows scanning electron microscopic images of cotton and polyester fabrics both untreated and treated with 0.5 % chitosan. The SEM images of polyester fibers/filaments exhibit flat and shiny appearance compared to cotton fibers as cotton contains many foreign particles within the structure. However, it is not relevant from sample topography with naked eyes to justify the presence of chitosan on the fabric surface.

Table 2 – Wet pick-up in the percentage of treated cotton and polyester fabrics

Fabric	Weight before treatment (g)	Weight after treatment (g)	Wet pick-up (%)
Cotton	19.5	34.68	77.48
	416.81	29.65	76.38
Polyester	14.14	22.26	57.42
	14.21	22.39	57.56

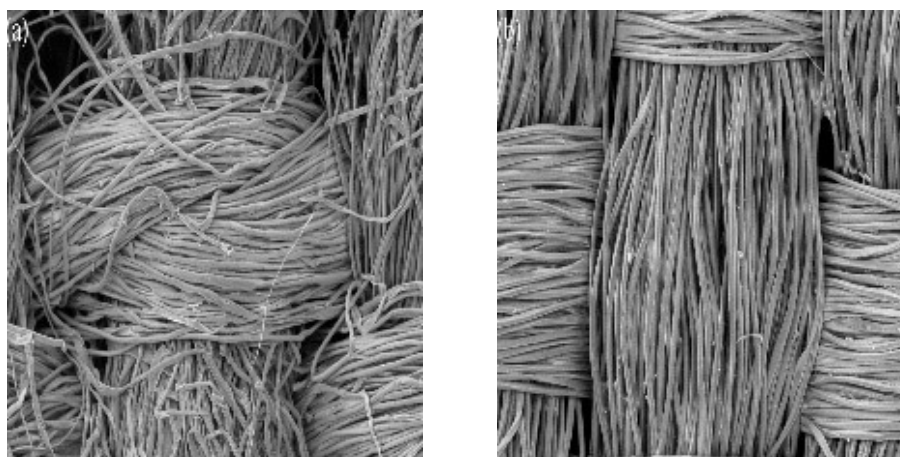


Figure 3 – SEM images of cotton (left) and polyester (right) fabric after treatment with chitosan recipe

Drop-test

The drop-test is performed with a Tegewa Patentblau V (0.2 %) solution for both the treated and untreated cotton and polyester fabrics. The samples are mounted on a circular board and adjusted properly to apply the drops of blue solution by means of a dropper. Hence, the absorption time of the droplets are recorded as shown in Table 3. There is no great change of color for 0.5 % chitosan implementation. Although cotton shows good absorption, still noticeable differences in penetration time between treated and untreated samples (see Table 3). Chitosan has made the cotton structure to open up to penetrate the droplets easily and quicker. Unfortunately, the blue dyed yarns are considered to be mercerized in the previous stages before weaving, which shows remarkable deviation. On the contrast, due to

surface adhesion and bipolar attraction between chitosan and other chemical additives has made the droplets to penetrate not in lesser time as for the untreated polyester.

Color measurement

Color change was measured by a Datacolor 400 spectrophotometer device taking three readings from each sample and illustrated difference in reflectance curves from the mean value. It is obvious from the graphic images (Figure 5) that finished samples show greater deviation as chitosan present on the fabric surface absorb the color particles and try to block them for a certain limit, thus reflects less than for the untreated samples. However, for polyester fabrics no noticeable change in color is determined. This is why, a quick dyeing step was followed to

Table 3 – Results of drop-test

Fabric	Vertical drop size (cm)	Horizontal drop size (cm)	Sink-in time (secs.)
Cotton (reference)	4.9 (4.8)	1 (0.6)	131.9 (1127.3)
	4.5	1.8	237.9
	4.8	1.7	284.9
Polyester (reference)	2.3 (7.6)	3.2 (4.5)	3.2 (0.5)
	3	2.7	3.9
	3	2.7	3.3



Figure 4 – Images after drop-test with Tegewa blue (0.2 %) solution. Cotton (left), Polyester (right)

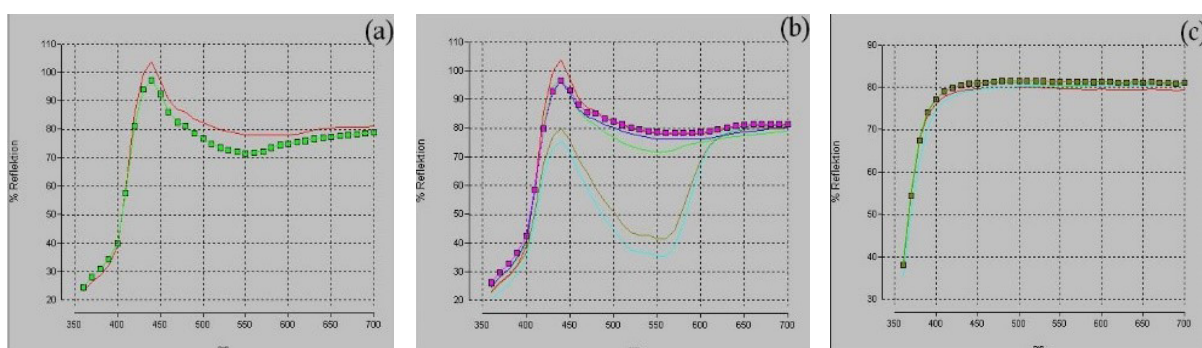


Figure 5 – Reflectance curves according to datacolor 400 for cotton and polyester fabrics. (a) Untreated cotton (red) and dyed cotton (green), (b) raw cotton-finished cotton (red to green from top) and finished-dyed cotton (green beige to blue bottom) with maximum change, (c) dyed polyester (red) and finished-dyed polyester (others) with minimal change

confirm the presence of chitosan utilizing color measurement process.

CONCLUSIONS

Low concentrated chitosan-based recipes for cotton and polyester fabrics are presented. This study shows a simple cold-pad technique to apply chitosan on cotton and polyester according to laboratory standard. However, it is clear that a certain amount of chitosan stays on both cotton and polyester fabrics from the drop-test, even for the dyed samples after rinsing from color measurement graphics. In this experiment, no

additional fixing agent is used and no extra wash cycle is performed. Therefore, to achieve the antimicrobial action of chitosan for long-term, fixation should be done to advise particular washing parameters with several wash cycles.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors owe many thanks to Dipl.-Ing. Simone Wagner (Hochschule Niederrhein, Faculty of Textile and Clothing Technology) for her assistance. Many thanks also to Technotex GmbH (Lauterbach, Germany) for providing the cotton and polyester fabrics.

CONFLICTS OF INTEREST

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

FUNDING

This project is funded by Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy based on a decision of the German Parliament [Reference Number: KK5163005PK1].

REFERENCES

1. Liu, Z., Luo, Y., Zhao, X. Zheng, K., Wu, M. and Wang, L. (2022), A natural antibacterial agent based on modified chitosan by hinokitiol for antibacterial application on cotton fabric, *Cellulose*, 2022, 29(4), pp. 2731–2742. DOI: 10.1007/s10570-022-04456-2.
2. Hoque, M.T. and Mahltig, B. (2020), Realisation of polyester fabrics with low transmission for ultraviolet light, *Coloration Technology*, 2020, 136(4), pp. 346–355. DOI: 10.1111/cote.12470.
3. Hoque, M. T., Mazumder, N. U. S. and Islam, M. T. (2021), Enzymatic wet processing. In: Rather, L.J., Shabbir, M., Haji, A., Eds., *Sustain. Pract. Text. Ind.*, Scrivener Publishing LLC, 2021, pp. 87–110. DOI: 10.1002/9781119818915.ch4.
4. Mahltig, B., Rabe, M. and Muth, M. (2019), Textiles, Dyeing, and Finishing, In: *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley Blackwell, 2019, pp. 1–35. DOI: 10.1002/0471238961.0609140903011201.a01.pub2.
5. Ye, W., Xin J.H., Li, P., Lee, Kam-Len D. and Kwong, T.-L. (2006), Durable antibacterial finish on cotton fabric by using chitosan based polymeric.pdf, *J. Appl. Polym. Sci.*, 2006, 102(2), pp. 1787–1793. DOI: 10.1002/app.24463.
6. Xu, Q. B., Xie L., Diao, H., Li, F., Zhang, Y. Y., Fu, F. Y. and Liu, X. D. (2017), Antibacterial cotton fabric with enhanced durability prepared using silver nanoparticles and carboxymethyl chitosan, *Carbohydr. Polym.*, 2017, 177, pp. 187–193. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.08.129.
7. Rahman Bhuiyan, M. A., Hossain, M. A., Zakaria, M., Islam, M. N. and Zulhash Uddin, M. (2017), Chitosan Coated Cotton Fiber: Physical and Antimicrobial Properties for Apparel Use, *J. Polym. Environ.*, 2017, 25(2), 334–342. DOI: 10.1007/s10924-016-0815-2.
8. Riaz, S. and Munir, A. (2020), Recent Advancemnets in Development of Antimicrobial Textiles. In: Shahid, M., Adivarekar, R., Eds., *Advances in Functional Finishing of Textiles*, Springer, 2020, pp. 129–168. DOI: 10.1007/978-981-15-3669-4_6.
9. Grgac, S. F., Tarbuk, A., Dekanic, T., Sujka, W. and Draczynski Z. (2020), The chitosan implementation into cotton and polyester/cotton blend fabrics, *Materials (Basel)*, 2020, 13(7). DOI: 10.3390/ma13071616.
10. Dutta, J., Tripathi, S. and Dutta, P. K. (2012), Progress in antimicrobial activities of chitin, chitosan and its oligosaccharides: a systematic study needs for food applications, *Food Sci Technol Int*, 2012, 18(1), pp. 3–34. DOI: 10.1177/1082013211399195.
11. Rath, G., Hussain, T., Chauhan, G., Garg, T. and Goyal, A. (2015), Collagen nanofiber containing silver nanoparticles for improved wound-healing applications, *J. Drug Target.*, 2015, 24(6), pp. 520–529, DOI: 10.3109/1061186X.2015.1095922.
12. Zhang, Z., Ma, Z., Leng, Q. and Wang, Y. (2019), Eco-friendly flame retardant coating deposited on cotton fabrics from bio-based chitosan, phytic acid and divalent metal ions, *Int. J. Biol. Macromol.*, 2019, 140, pp. 303–310. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.08.049.

13. Iheaturu, N. C., Aharanwa, B. C., Chike, K. O., Ezeamaku, U. L., Nnorom, O. O and Chima, C. C. (2019), Advancements in Textile Finishing, *IOSR J. Polym. Text. Eng.*, 2019, 6(5), pp. 23–31. DOI: 10.9790/019X-06052331.
14. Kamel, M. Y. and Hassabo, A. G. (2021), Anti-Microbial Finishing for Natural Textile Fabrics, *J. Text. Color. Polym. Sci.*, 2021, 18(2), pp. 83–95. DOI: 10.21608/jtcps.2021.72333.1054.
15. Choi, C., Nam, J.-P. and Nah, J.-W. (2016), Application of chitosan and chitosan derivatives as biomaterials, *J. Ind. Eng. Chem.*, 2016, 33, pp. 1–10.
16. Toskas G., Cherif, C., Hund, R.-D., Laourine, E., Mahltig, B., Fahmi, A., Heinemann, C., Hanke, T. (2013), Chitosan(PEO)/silica hybrid nanofibers as a potential biomaterial for bone regeneration, *Carbohydr. Polym.*, 2013, 94(2), pp. 713–722. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.01.068.
17. Tian, X., Hua, T., Poon, T., Yang, Y., Hu, H., Fu, J., Li, J. and Niu, B. (2022), Study on Effects of Blending Fiber Type and Ratio on Antibacterial Properties of Chitosan Blended Yarns and Fabrics, *Fibers Polym.*, 2022, 23(9), pp. 2565–2576. DOI: 10.1007/s12221-022-0052-3.
18. Hosseinnajad, M. and Jafari, S. M. (2016), Evaluation of different factors affecting antimicrobial properties of chitosan, *Int. J. Biol. Macromol.*, 2016, 85, pp. 467–475. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2016.01.022.
19. Hoque, M. T., Klinkhammer, K. and Mahltig, B. (2023), HT process for treatment of PET fabrics with chitosan-containing recipes, *CDATP*, 2023, 4(2), pp. 222–230. DOI: 10.25367/cdatp.2023.4.p222-230.
20. Hoque, M.T., Benrui, T., Grethe, T. and Mahltig, B. (2023), HT process for treatment of PET fabrics with chitosan-containing recipes, *CDATP*, 2023, 4(2), pp. 187–200. DOI: 10.25367/cdatp.2023.4.p187-200.

Информация об авторах

Information about the authors

Мохаммед Тоуфикл Хакк

Магистр, бакалавр, научный сотрудник, Факультет текстиля и технологии одежды, Нижнерейнский университет прикладных наук, Мёнхенгладбах, Германия.

Кристина Клинкхаммер

Доктор естественных наук (химия), старший научный сотрудник, Факультет текстиля и технологии одежды, Нижнерейнский университет прикладных наук, Мёнхенгладбах, Германия.

Борис Малтиг

Профессор, Факультет текстиля и технологии одежды, Нижнерейнский университет прикладных наук, Мёнхенгладбах, Германия.

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

Mohammad Toufiqul Hoque

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

Kristina Klinkhammer

Doctor Rerum Naturalium (Doctor of Natural Sciences), Diploma Chemistry, Senior Researcher, Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Germany.

Boris Mahltig

Full Professor, PhD, Faculty of Textile and Clothing Technology, Hochschule Niederrhein University of Applied Sciences, Mönchengladbach, Germany.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ-БИОЦИДОВ ПРИ КРАШЕНИИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДИСПЕРСНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

Ю.А. Самолазова, С.В. Петрова-Куминская

Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Развитие отделочного производства в направлении придания антибактериальных свойств текстильным материалам является целесообразным ввиду высокой востребованности данного вида продукции. Наиболее перспективным в этой связи является использование красителей или ТВВ, бактерицидность которых известна и достаточно исследована.

Целью работы было исследование возможности использования известных бактерицидных препаратов в качестве интенсификаторов крашения гидрофобных материалов дисперсными красителями. Такие препараты, оставаясь в материале, могут оказывать пролонгированное действие на микроорганизмы, кроме того, позволят снизить температуру крашения, повысить интенсивность окраски, уменьшить расход красителя.

Изучалось крашение трех видов тканей, различающихся плотностью строения волокон и доступностью диффузии в них красителей, – ацетатной, полиамидной и полиэфирной. В качестве интенсификаторов использовались биоциды: триклозан, гидрохинон, резорцин и β -нафтол.

В работе ставились задачи: выбрать оптимальные условия крашения с использованием различных интенсификаторов, оценить малые цветовые различия окрашенных образцов, изучить кинетику крашения тканей в присутствии интенсификаторов.

В результате проведенной работы были изучены: влияние природы и концентрации препаратов на цветовые характеристики тканей и кинетику крашения; выбраны наиболее предпочтительные интенсификаторы и их концентрации для каждого вида ткани, подобран оптимальный вариант использования триклозана при крашении.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения рассматриваемых представителей фенолов, обладающих антибактериальными свойствами, в качестве интенсификаторов крашения гидрофобных тканей. Это позволит повысить выбираемость красителей и одновременно придать тканям бактерицидность, следовательно, сократить стадии заключительной отделки.

Ключевые слова: гидрофобные ткани; крашение; биоцид; интенсификатор; цветовые различия.

Информация о статье: поступила 9 октября 2023 года.

THE USE OF INTENSIFIERS-BIOCIDES IN THE DYEING OF TEXTILE MATERIALS WITH DISPERSED DYES

Julia A. Samolazova, Sviatlana V. Piatrova-Kuminskaya

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

ABSTRACT

Endowing textile materials with antimicrobial properties aims to achieve two main goals: protection of the material from the effects of microorganisms and protection from the effects of pathogenic microflora of objects in contact with textile materials. The most promising approach in the finishing process is the use of dyes or textile auxiliaries, the bactericidal activity of which is known and sufficiently investigated. An analysis of modern preparations, known in medicine as bactericidal or antiseptic, shows that many of them are similar in structure and other characteristics to preparations widely used in textile chemistry as intensifiers of the dyeing process of synthetic fibrous materials.

This work is devoted to the study of the processes of dyeing hydrophobic textile materials with dispersed dyes using preparations with antibacterial properties (triclosan, hydroquinone, resorcinol, β -naphthol) as intensifiers.

As a result of the work carried out, the influence of the nature and concentration of preparations on the color characteristics of fabrics and the kinetics of dyeing processes was studied; the optimal method of processing materials with the strongest intensifier – triclosan – was selected.

The obtained results indicate the possibility of using considered representatives of phenols, which have antibacterial properties, as intensifiers for dyeing polyester, polyamide and acetate fabrics. This will increase the selection of dyes, reduce the dyeing temperatures and at the same time impart biocidal properties to fabrics, thereby reducing the stages of final finishing.

Keywords: hydrophobic fabrics; biocide; intensifier; color differences.

Article info: received October 9, 2023.

С ростом осведомленности общественного здравоохранения о патогенных эффектах, неприятных запахах и пятнах, вызываемых микроорганизмами, возрастает потребность в антибактериальных материалах во многих областях применения, таких как медицинский инвентарь, здравоохранение, системы очистки воды, больницы, стоматологическое и хирургическое оборудование, текстиль, упаковка и хранение пищевых продуктов, пр.

Текстильные материалы, обладающие способностью противостоять болезнетворным и гнилым бактериям, обеспечивающие защиту от вирусов и микробов давно завоевали прочное положение на мировом рынке [1]. В зависимости от области применения текстиля (в быту, спорте, технике, медицине и т. д.) используют различные биоциды, технологии и виды отделки [2].

Придание текстильным материалам антимикробных свойств преследует две основные цели: защиту материала от действия микроорганизмов и защиту от действия патогенной микрофлоры объектов, соприкасающихся с текстильными материалами [3]. Развитие отделочного производства в направлении придания антибактериальных свойств текстильным материалам является целесообразным ввиду высокой востребованности данного вида продукции. В целом, потребность в противомикробной и гигиенической отделке, похоже, сохранится в обозримом будущем.

Наиболее перспективным в отделочном производстве является использование красителей или ТВВ, бактерицидность которых известна и достаточно исследована. Анализ современных препаратов, известных в медицине как бактерицидные и(или) антисептические, показы-

вает, что многие из них по своему строению и другим признакам подобны препаратам, широко применяющимся в текстильной химии как интенсификаторы процесса крашения синтетических волокнистых материалов.

Целью работы было исследование возможности использования бактерицидных препаратов с известным действием в двух направлениях: интенсификации процесса крашения гидрофобных материалов и параллельное придание им бактерицидных свойств. Такие препараты, оставаясь в материале, могут оказывать пролонгированное действие на микроорганизмы, кроме того, позволят снизить температуру крашения, повысить интенсивность окраски, уменьшить расход красителя [4].

В более ранних работах нами предложен в качестве интенсификатора крашения полиэфирных волокон триклозан – антибактериальный, противомикробный и противогрибковый препарат широкого спектра действия [5]. Окрашенные с его применением ткани приобретали высокую устойчивость к стафилококку и кишечной палочке, что подтверждено результатами санитарно-микробиологических исследований УЗ «Могилевского областного центра гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья» (Пр. №4.627.1-5/148-152 от 02.06.2015 г.). Благодаря антибактериальным свойствам триклозан нашел широкое применение в различных потребительских товарах, включая зубные пасты, дезодоранты, мыло, полимеры и волокна [6].

В качестве интенсификаторов в данной работе наряду с триклозаном были выбраны биоциды: β -нафтол, гидрохинон и резорцин [7, 8].

Резорцин – классический противогрибковый препарат, гидрохинон обладает антисептиче-

ским действием, β -нафтол проявляет антибактериальное действие (кишечная палочка, сальмонелла, цигеллы).

В работе ставились следующие задачи:

- выбрать оптимальные условия крашения с использованием различных интенсификаторов;
- оценить малые цветовые различия окрашенных образцов;
- изучить кинетику крашения тканей в присутствии интенсификаторов.

Крашение проводили дисперсным оранжевым красителем трех видов гидрофобных тканей, различающихся плотностью структуры, степенью кристалличности и доступностью действия красителя: ацетатной, полиамидной и полиэфирной.

Крашение всех образцов ацетатной ткани проводилось в условиях: модуль ванны $M = 60$, температура крашения – $70\text{ }^{\circ}\text{C}$, продолжительность – 40 минут, концентрация диспергатора НФ $C = 2\text{ г/л}$, концентрация красителя $C = 2\%$ от массы образца ткани.

Различия в крашении заключались в использовании различных интенсификаторов, их концентрации и способе приготовления растворов (дисперсий):

- так как гидрохинон и резорцин растворимы в воде, готовили их растворы и вводили в кра-

сильную ванну. Красильную ванну нагревали до температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и помещали в нее образец ткани. Температуру поднимали до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и красили в течении 40 минут, непрерывно перемешивая;

- β -нафтол, диспергатор НФ и краситель затирали в ступке с добавлением воды. Полученную суспензию переносили в стакан. Красильную ванну нагревали до температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, помещали в нее образец ткани. Крашение проводили аналогично;

- для введения триклозана в красильную ванну предварительно готовили его эмульсию с диспергатором, которую нагревали до температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и тщательно взбивали. В подогретую до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ красильную ванну (с красителем и диспергатором) вводили эмульсию триклозана, помещали в нее образец ткани. Далее крашение при $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

После крашения образцы тканей промывали горячей и холодной водой и сушили на воздухе при комнатной температуре.

Окрашенные образцы анализировались на приборе спектрофотометре YS 3060. Все окрашенные с интенсификаторами образцы сравнивали со стандартом – образцом, окрашенным без интенсификатора. В таблице 1 представлены показатели малых цветовых различий.

Таблица 1 – Показатели малых цветовых различий ацетатной ткани

Интенсификаторы	Общие цветовые различия, ΔE	Изменения светлоты, ΔL	Изменения тона, ΔH	Изменения чистоты, ΔC
Гидрохинон 2 г/л	3,20	-2,82	1,04	-1,97
Гидрохинон 5 г/л	6,39	-7,16	-2,67	0,14
Резорцин 2 г/л	1,84	1,06	-1,04	1,23
Резорцин 5 г/л	2,13	-2,36	-0,82	0,06
β -нафтол 2 г/л	2,03	1,74	0,83	-1,06
β -нафтол 5 г/л	6,95	-1,56	1,31	-6,69
Триклозан 1 г/л	8,69	-5,75	-7,17	0,71

Как видно из результатов, резорцин и β -нафтол интенсифицируют крашение при концентрации в красильной ванне 5 г/л, а при использовании гидрохинона такую же интенсивность окраски можно достичь при концентрации 2 г/л. Наиболее сильным интенсификатором выступает триклозан, количества которого достаточно 1 г/л, чтобы достичь значительного эффекта. Но при содержании его в ванне 2 г/л ткань приобретает жесткость, а при еще большей концентрации пластифицирующее действие настолько сильное, что наблюдается размягчение полимера и деформация ткани.

Крашение полиэфирной ткани проводилось в следующих условиях: модуль ванны $M = 60$, температура крашения – 100 °С, продолжительность – 1 час, концентрация диспергатора ТСС = 2 г/л, концентрация красителя $C = 2\%$ от массы образца ткани.

Приготовление красильной ванны проводилось аналогично описанной выше методике. В таблице 2 представлены показатели малых цветовых различий.

Образцы тканей, окрашенных с применением резорцина, имели окраску, близкую стандартному образцу, а гидрохинона – даже светлее. Это может свидетельствовать о низком сродстве двухатомных фенолов к полиэфиру и нецелесообразности их использования в качестве интенсификаторов крашения.

β -нафтол проявляет сильное пластифицирующее действие, особенно, при содержании в красильной ванне в количестве 5 г/л. Триклозан обеспечивает более темную, интенсивную окраску полиэфирной ткани по сравнению со стандартом уже при концентрации 2 г/л.

Крашение полиамидной ткани проводилось в условиях, идентичных крашению полиэфирной ткани. Приготовление красильной ванны проводилось аналогично предыдущим вариантам. В таблице 3 представлены показатели малых цветовых различий.

Наиболее слабое действие на капрон оказывает гидрохинон (даже при концентрации 5 г/л) и резорцин при концентрации 2 г/л. Высокий эффект оказывают β -нафтол и триклозан. Но применение триклозана при концентрациях выше 2 г/л невозможно, т. к. появляется жесткость ткани.

В работе изучалась кинетика процессов крашения ацетатной, полиэфирной и полиамидной ткани в присутствии интенсификаторов: гидрохинона, β -нафтола и триклозана. По изменению оптической плотности красильных ванн во время крашения наблюдался ход поглощения красителя, определялось оптимальное время

Таблица 2 – Показатели малых цветовых различий полиэфирной ткани

Интенсификаторы	Общие цветовые различия, ΔE	Изменения светлоты, ΔL	Изменения тона, ΔH	Изменения чистоты, ΔC
Гидрохинон 2 г/л	7,39	2,72	4,15	-5,77
Гидрохинон 5 г/л	2,20	0,21	-0,21	-2,18
Резорцин 2 г/л	1,28	-0,42	0,69	-1,00
Резорцин 5 г/л	4,29	-1,92	3,01	-2,70
β -нафтол 2 г/л	4,36	-4,27	-1,47	2,58
β -нафтол 5 г/л	13,12	-14,35	-5,18	5,47
Триклозан 2 г/л	14,84	-14,31	-8,95	5,03

Таблица 3 – Показатели малых цветовых различий полиамидной ткани

Интенсификаторы	Общие цветовые различия, ΔE	Изменения светлоты, ΔL	Изменения тона, ΔH	Изменения чистоты, ΔC
Гидрохинон 2 г/л	4,94	2,88	2,26	-3,83
Гидрохинон 5 г/л	3,89	-0,81	2,88	-2,48
Резорцин 2 г/л	2,72	-0,423	-2,24	1,50
Резорцин 5 г/л	7,74	-4,03	-4,59	5,46
β -нафтол 2 г/л	8,07	-7,34	1,75	5,59
β -нафтол 5 г/л	14,77	-16,18	-0,25	8,26
Триклозан 2 г/л	11,47	-11,84	-4,23	6,02

крашения и оценивался коэффициент выбираемости красителей. Отбираемые пробы ванны (первоначальная и через каждые 10 минут крашения) объемом 1 мл разбавлялись в 5 раз, помещались в кювету на 5 мм и анализировались на колориметре КФК-2 при длине волны $\lambda = 420$ нм. Предварительно были построены калибровочные графики зависимости оптической плотности от концентрации красителя.

Кривые изменения оптической плотности, а, следовательно, и концентрации красителя со временем крашения ацетатной, полиэфирной и полиамидной тканей показаны соответственно на рисунках 1, 2, и 3. По значениям содержания красителя в начальной и остаточной ванне рассчитывались коэффициенты выбираемости (формула 1, таблица 4):

$$K_{\text{выб}} = \frac{C_{\text{н}} - C_{\text{х}}}{C_{\text{н}}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Как видно из представленного графика, все интенсификаторы ускоряют процесс в начальном периоде крашения (20–30 минут) по сравнению с более медленным и равномерным выбором красителя при крашении в стандартных условиях. Оптимальное время крашения – 50 минут.

Ход кривой крашения полиэфирной ткани с использованием в красильной ванне гидрохи-

нона практически не отличается от стандартного крашения. Равновесие крашения во всех представленных вариантах устанавливается через 70 минут.

Наблюдается плавное снижение концентрации красителя в ванне. Равновесие крашения полиамидной ткани достигается через 60 минут.

На основании представленных данных можно заключить, что водорастворимый гидрохинон из-за низкого сродства к полиэфиру не может использоваться в качестве интенсификатора его крашения, но вполне применим для ацетата. β -нафтол можно использовать для всех трех видов тканей, а триклозан, как наиболее сильный интенсификатор, целесообразно применять для ацетата и полиамида при концентрациях ниже 2 г/л. Сведения по светлоте окрашенных образцов достаточно хорошо коррелируют с результатами по выбираемости красителя, различия связаны с неодинаковым удалением красителя при промывке после крашения.

Как известно из практики крашения текстильных материалов дисперсными красителями с интенсификаторами, последние могут вводиться в красильные растворы на различных стадиях крашения. Нами изучены варианты крашения полиэфирной ткани с триклозаном (выбран полиэфир, плотная структура которого наиболее

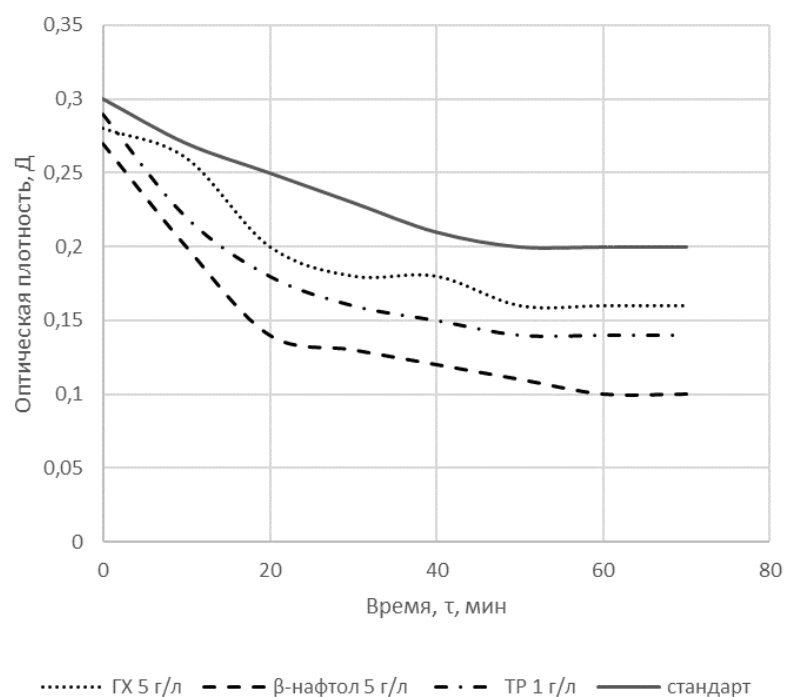


Рисунок 1 – Зависимость оптической плотности (D) от времени (τ) крашения ацетатной ткани

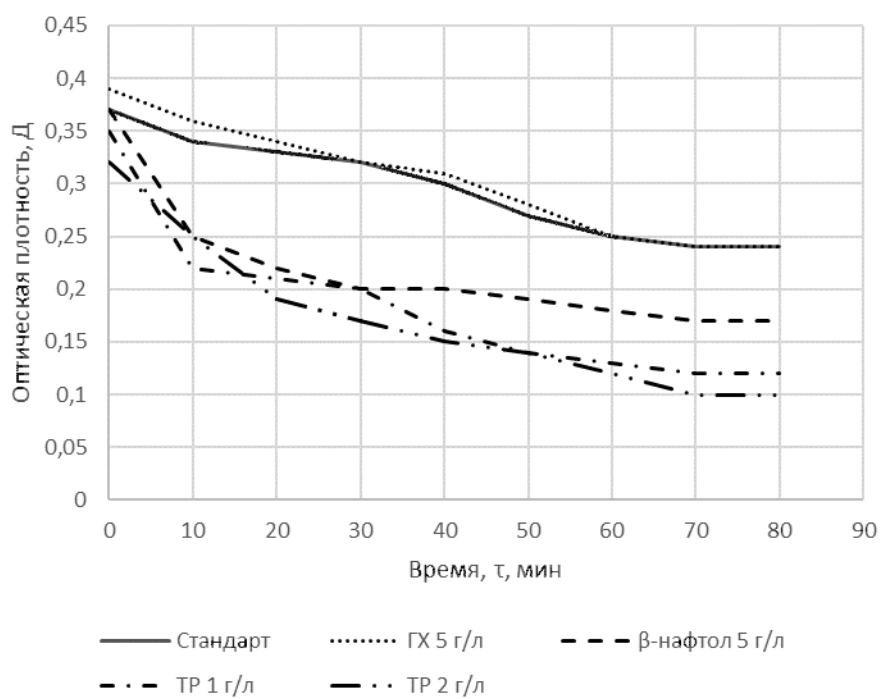


Рисунок 2 – Зависимости оптической плотности (D) от времени (τ) крашения полиэфирной ткани

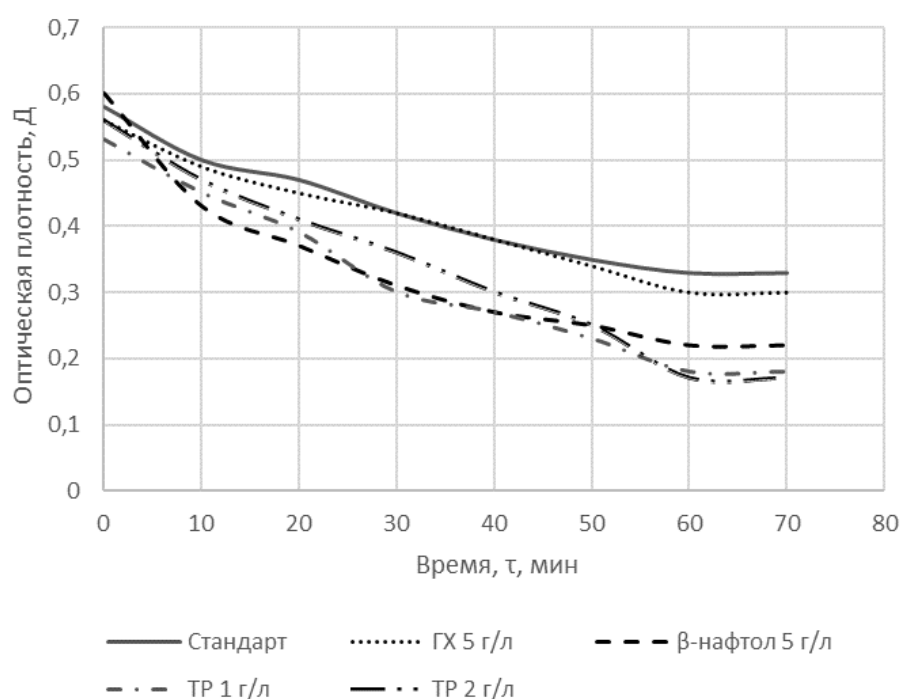
Рисунок 3 – Зависимость оптической плотности (D) от времени (τ) крашения полиамидной ткани

Таблица 4 – Коэффициенты выбираемости красителя

Образцы ткани	Значения коэффициента выбираемости, $K_{выб}^*$ %				
	Стандарт	ГХ (5 г/л)	β-нафтол (5 г/л)	ТР (1 г/л)	ТР (2 г/л)
Ацетат	33,0	48,0	62,8	51,5	-
Полиэфир	35,0	38,0	54,0	65,0	68,8
Полиамид	37,9	45,6	63,0	66,0	69,6

нуждается в пластификации):

- 1) предварительная обработка ткани эмульсией триклозана и диспергатора с последующим отжимом и сушкой ткани перед крашением;
- 2) предварительная обработка эмульсией триклозана и диспергатора с последующим отжимом и крашением ткани без сушки;
- 3) введение триклозана в красильную ванну до погружения в нее ткани.

Анализ результатов крашения по трем вариантам проводился по цветовым характеристикам полученных образцов, а также по кинетике выбора красителя из ванны в процессе кра-

шения.

Стандартные условия крашения по всем вариантам следующие: модуль ванны $M = 60$, температура крашения – $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, концентрация диспергатора ТС $C = 2\text{ г/л}$, концентрация красителя дисперсного оранжевого $C = 2\%$ от массы образца, концентрация интенсификатора триклозана $C = 2\text{ г/л}$.

По варианту 3 перед крашением в красильную ванну вводился триклозан в виде водной эмульсии с диспергатором.

Подготовка ткани перед крашением по варианту 1 и 2 включала: диспергатор ТС с трикло-

заном и водой нагревали до температуры 60 °С и тщательно взбивали для получения мелкодисперсной эмульсии. В эмульсию помещали образец ткани и обрабатывали в течении 40 минут при 100 °С непрерывно перемешивая. После обработки образец отжимали (отжим 53 %) и разделяли на две части: первый образец – сушили на воздухе при комнатной температуре, а затем красили; второй – в мокром состоянии погружали в красильную ванну.

Подготовленные образцы окрашивали с одновременным контролем оптической плотности в ванне через каждые 10 минут. Результаты представлены в таблице 5.

Независимо от места введения триклозана в красильную ванну, оптимальным временем крашения является 70 минут.

Значения коэффициентов выбираемости красителя представлены в таблице 6.

Исходя из коэффициентов выбираемости, наиболее приемлемым вариантом обработки триклозаном является предварительная обра-

ботка ткани в течении 40 минут при 100 °С с последующей сушкой. Но и введение этого интенсификатора в красильную ванну или с предварительной обработкой без сушки также обеспечивают высокую выбираемость красителя, в два раза превосходящую результаты крашения без использования интенсификатора.

Значения малых цветовых различий образцов представлены в таблице 7.

К основным выводам работы следует отнести:

- проведен сравнительный анализ действия ряда представителей фенолов, обладающих антибактериальными свойствами, как интенсификаторов крашения трех видов гидрофобных тканей, различающихся плотностью структуры и скоростью диффузии в них дисперсных красителей;

- все рассматриваемые препараты можно использовать при крашении ацетатных тканей, но триклозан можно использовать только при концентрации не более 1 г/л. Более высокие концентрации вызывают чрезмерную пластифи-

Таблица 5 – Значение оптической плотности красильных растворов при крашении с применением интенсификатора триклозана (ТР)

Время, t , мин	Оптическая плотность (Д)			
	Стандарт	ТР в ванне	ТР, крашение сухого образца	ТР, крашение мокрого образца
5	0,37	0,32	0,5	0,53
10	0,34	0,25	0,45	0,38
20	0,33	0,19	0,34	0,30
30	0,32	0,17	0,32	0,27
40	0,30	0,15	0,29	0,24
50	0,27	0,14	0,22	0,22
60	0,25	0,12	0,19	0,20
70	0,24	0,10	0,14	0,19
80	0,24	0,10	0,14	0,19

Таблица 6 – Коэффициенты выбираемости красителя при крашении полиэфирной ткани с триклозаном

Значения коэффициента выбираемости, $K'_{\text{выб}}$, %			
Стандарт	ТР в ванне	ТР, крашение сухого образца	ТР, крашение мокрого образца
35,0	68,6	72,0	66,7

Таблица 7 – Показатели малых цветовых различий полиэфирной ткани, окрашенной с триклозаном

Варианты крашения	Общие цветовые различия, ΔE	Изменения светлоты, ΔL	Изменения тона, ΔH	Изменения чистоты, ΔC
ТР в красильной ванне	14,84	-14,31	-8,95	5,03
ТР, крашение сухого образца	23,86	-16,67	-10,82	17,33
ТР, крашение мокрого образца	14,71	-9,54	-3,30	10,70

кацию волокна и жесткость ткани;

- для полиэфирных материалов наиболее целесообразно применять в качестве интенсификатора крашения триклозан и β -нафтол (при более высокой концентрации);

- в крашении полиамидов наиболее предпочтительным можно считать β -нафтол и триклозан (с концентрацией не более 2 г/л);

- на основании данных кинетики крашения при выбранной температуре определено оптимальное время процесса для каждой ткани и

рассчитаны коэффициенты выбираемости красителей;

- из различных способов обработки полиэфирных материалов интенсификатором триклозаном наилучший эффект усиления цвета дает предварительная обработка ткани эмульсией триклозана с последующим отжимом и сушкой перед крашением. Однако, и введение препарата в красильную ванну значительно интенсифицирует крашение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Яминзода, З. А., Петрова, Л. С., Одинцова, О. И., Владимирцева, Е. Л., Соловьева, А. А., Смирнова, А. С. (2021), Перспективные способы антибактериальной отделки текстильных материалов, *Российский химический журнал*, 2021, № 65(2), С. 67–82.
2. Макарова, Н. А., Бузов, Б. А., Мишаков, В. Ю. (2003), Текстиль против микробов. Номенклатура и качество носителей антимикробных препаратов, *Текстильная промышленность*, 2003, № 6, С. 20–21.
3. Антонова, М. В., Красина, И. В., Илюшина, С. В. (2014), Методы придания антибактериальных свойств текстильным волокнам. Обзор, *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 18 (17), С. 56–63.
4. Гараніна, О. О., Петрова-Кумінська, С. В., Волохович, Г. О., Зенін, Б. І. (2019), Використання нтенсифікаторів забарвлення для отримання спеціальних властивостей синтетичних текстильних матеріалів, *Матеріали 111 Міжнародної науково-практичної конференції текстильних та фешн технологій*, Київ, 2019, С. 235–240.
5. Миронова, А. В., Петрова-Куминская, С. В., Романкевич, О. В., Гаранина, О. А., Новиков, А. В., Короткевич, И. В. (2018), Способ крашения полиэфирного текстильного материала, совмещенный с антибактериальной обработкой, *Патент РБ: Пат. № 21913 С2 ВУ, МПК (2018) D 06M 13/00 (2006.01)*, опубл. 30.06.2018. Бюл. № 3.
6. Dhende, V.P., Hardin, I.R., Locklin, J. (2012), Durable antimicrobial textiles: types, finishes and applications, *Understanding and Improving the Durability of Textiles*, 2012, pp. 145–173.
7. Забашта, В. Н. (1981), *Основы интенсификации крашения полиэфирных волокон*, Ленинград, 134 с.
8. Кричевский, Г. Е. (2001), *Химическая технология текстильных материалов*, Т. 2, Москва, 540 с.

REFERENCES

1. Jaminzoda, Z. A., Petrova, L. S., Odincova, O. I., Vladimircova, E. L., Solov'eva, A. A., Smirnova, A. S. (2021), Promising methods of antibacterial finishing of textile materials [Perspektivnye sposoby antibakterial'noj otdelki tekstil'nyh materialov], *Rossiiskij himicheskij zhurnal – Russian Chemical Journal*, 2021, № 65(2), pp. 67–82.
2. Makarova, N. A., Buzov, B. A., Mishakov, V. Ju. (2003), Textiles against microbes. Nomenclature and quality of antimicrobial carriers [Tekstil' protiv mikrobov. Nomenklatura i kachestvo nositelej antimikrobnih preparatov], *Tekstil'naja promyshlennost' – Textile Industry*, 2003, № 6, pp. 20–21.
3. Antonova, M. V., Krasina, I. V., Iljushina, S. V. (2014), Methods of giving antibacterial properties to textile fibers. Review [Metody pridaniya antibakterial'nyh svoystv tekstil'nyim voloknam. Obzor], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2014, № 18 (17), pp. 56–63.
4. Garanina, O. A., Petrova-Kuminskaja, S. V., Volohovich, G. A., Zenin, B. I. (2019), The use of dyeing intensifiers to obtain special properties of synthetic textile materials [Ispol'zovanie intensifikatorov krasheniya dlja polucheniya special'nyh svoystv sinteticheskikh tekstil'nyh materialov], *Proceedings of the 111 International Scientific and Practical Conference of Textile and Fashion Technologies*, Kiev, 2019, pp. 235–240.
5. Mironova, A. V., Petrova-Kuminskaja, S. V., Romankevich, O. V., Garanina, O. A., Novikov, A. V., Korotkevich, I. V. (2018), A method of dyeing polyester textile material combined with antibacterial treatment [Sposob krasheniya polijefirnogo tekstil'nogo materiala, sovmeshhennyj s antibakterial'noj obrabotkoj], *patent RB: Pat. № 21913 C2 BY, MPK (2018) D 06M 13/00 (2006.01) – Patent of the Republic of Belarus: Patent No. 21913 C2 BY, IPC (2018) D 06M 13/00 (2006.01)*, publ. 30.06.2018. Byul. № 3.
6. Dhende, V. P., Hardin, I. R., Locklin, J. (2012), Durable antimicrobial textiles: types, finishes and applications, *Understanding and Improving the Durability of Textiles*, 2012, pp. 145–173.
7. Zabashta, V. N. (1981), *Osnovy intensifikacii krasheniya polijefirnyh volokon* [Fundamentals of polyester fiber dyeing intensification], Leningrad, 134 p.
8. Krichevskij, G. E. (2001), *Himicheskaja tehnologija tekstil'nyh materialov, T. 2* [Chemical technology of textile materials, Vol. 2], Moscow, 540 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Самолазова Юлия Александровна

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

E-mail: samolazovayulia@yandex.by

Петрова-Куминская Светлана Владимировна

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

E-mail: htvms@tut.by

Julia A. Samolazova

Postgraduate Student of the Department “Chemistry and Technology of high- molecular compounds”, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

E-mail: samolazovayulia@yandex.by

Sviatlana V. Piatrova-Kuminskaya

Candidate of Sciences (in Chemistry), Associate Professor of the Department “Chemistry and Technology of high- molecular compound”, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Republic of Belarus.

E-mail: htvms@tut.by

УЛУЧШЕНИЕ АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ПАН ВОЛОКОН ДЛЯ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ АРМИРУЮЩЕГО КОМПОНЕНТА В КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛАХ

С. Баллыев, Ф.Р. Сагитова, Ф.С. Шарифуллин

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Улучшение адгезионных свойств полиакрилонитриловых (ПАН) волокон является важной темой исследований и разработок в области материалов и технологий. Адгезионные свойства ПАН-волокон, то есть их адгезионная способность к другим материалам или матрицам, играют ключевую роль в производстве композиционных волокнистых материалов различного назначения. Проблематика данного исследования заключается в том, что ПАН волокна химически инертны и с трудом образуют адгезивные связи с другими материалами. Это затрудняет склеивание, сшивание или соединение с другими материалами. Также проблема ПАН волокон заключается в содержании ограниченных количеств активных функциональных групп, которые могут участвовать в химических реакциях с другими материалами, тем самым также снижая адгезию с другими материалами. В связи с этим целью работы является повышение адгезионных свойств ПАН волокон за счет применения высокочастотной емкостной плазмы пониженного давления, которая способствует созданию дополнительных активных групп на поверхности волокна.

Для оценки адгезионной прочности между ПАН волокнами и материалом матрицы использовалась универсальная испытательная машина серии Autograph AGS-X (Shimadzu), определение капиллярных свойств ПАН волокон проводилось по высоте капиллярного подъема воды.

Результаты экспериментальных исследований показали, что модификация ПАН волокон с использованием плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления способствует улучшению адгезионных свойств и капиллярности. Выявлен наилучший режим ВЧЕ плазменной обработки, который приводит к повышению адгезионной прочности на 53 % и капиллярности на 52 % относительно контрольного образца. Данное исследование подтверждает потенциал ВЧЕ плазменной обработки для повышения адгезионных свойств как ПАН волокон, так и других синтетических волокон.

Ключевые слова: модификация; высокочастотная емкостная плазма; адгезия; полиакрилонитрил; капиллярность; разрывная нагрузка.

Информация о статье: поступила 25 октября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

ENHANCING THE ADHESION PROPERTIES OF PAN FIBERS FOR THEIR APPLICATION AS A REINFORCING COMPONENT IN COMPOSITE MATERIALS

Salih Ballyev, Farida R. Sagitova, Farid S. Sharifullin

Kazan National Research Technological University, Russian Federation

ABSTRACT

Enhancing the adhesive properties of polyacrylonitrile (PAN) fibers is a significant research and development topic in materials and technology. The adhesive properties of PAN fibers, namely, their ability to adhere to other materials or matrices, play a key role in the production of various composite materials, fiber composites, and carbon fiber products. Enhancement of the adhesive properties of PAN fibers can pose the following challenges: PAN fibers are chemically inert and difficult to form adhesive bonds with other materials. This makes it difficult to glue, stitch, or join with other materials. PAN fibers contain a limited number of active functional groups that

can participate in chemical reactions with other materials, thereby reducing adhesion. PAN fibers have a smooth and non-porous surface, which also complicates adherence to other surfaces. The low surface energy of PAN implies that the molecules do not have a high affinity for other materials. In this context, the article addresses the pressing issue of enhancing the adhesive properties of PAN fibers through the use of low-pressure radio-frequency capacitive (RFC) plasma, which facilitates the creation of additional active groups on their surface. Active groups on the surface of the fibers can interact with other materials, such as resins, adhesives, or coatings, enhancing adhesion and creating more reliable connections. The article presents the results of a study of the influence of low-pressure high-frequency capacitive plasma on the adhesive properties of PAN fibers. The results of the adhesive strength and capillarity of PAN fibers after pre-treatment with low pressure plasma are discussed.

Keywords: *modification; radio-frequency capacitive plasma; adhesion; polyacrylonitrile; capillarity; breaking load; fiber; properties.*

Article info: *received October 25, 2023.*

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

ВВЕДЕНИЕ

Текстильная промышленность является одной из наиболее динамичных и инновационных отраслей, которая постоянно стремится к разработке новых материалов и технологий. В последние десятилетия синтетические волокна заняли важное место в этой сфере благодаря своим уникальным свойствам и широкому спектру применения. Одними из таких волокон, которые привлекают все большее внимание и находят широкое применение в текстильной промышленности, являются полиакрилонитрильные (ПАН) волокна. В современном инженерном и строительном мире постоянно возрастает потребность в инновационных материалах, способных обеспечивать высокую прочность, легкость и долговечность конструкций. Перспективным направлением в этой области является использование ПАН волокон в качестве армирующего компонента в композиционных материалах. В нашей статье мы рассмотрим способ улучшения адгезионных свойств ПАН волокон для применения их в качестве армирующего компонента композитов в различных отраслях промышленности.

Одним из основных преимуществ ПАН волокон являются их прочностные свойства, что позволяет использовать их в производстве текстильных изделий с высокими эксплуатационными характеристиками. Кроме того, ПАН волокна обладают высокой стойкостью к химическому воздействию, а также хорошей термической и коррозионной устойчивостью, что повышает привлекательность их применения в качестве

армирующего компонента в композиционных материалах для создания прочных и надежных конструкций.

Обработка текстильных волокон плазмой пониженного давления представляет собой важный аспект в области усовершенствования текстильных волокон. Использование плазменных технологий в текстильной промышленности обеспечивает уникальные возможности для модификации поверхности волокон с целью улучшения их физико-химических свойств. Эта методика не только способствует улучшению адгезии с другими материалами, но также повышает влагостойкость, износостойкость и другие характеристики текстильных материалов.

В работе [1] проводится анализ влияния высокочастотного емкостного (ВЧЕ) разряда пониженного давления на сорбцию ПАН волокна. В начале ПАН волокна подвергались ВЧЕ плазменной обработке, затем образец пропитывался раствором, содержащим от 10 до 30 % раствора фогинола и 1 % фосфорной кислоты, в течение 2 мин. Для закрепления замедлителя горения волокно погружали в 10 % раствор сшивающего агента DM 70. Результаты показали, что привес фогинола увеличивается в 2 раза при обработке 10%-ным раствором и в 3,5 раза 30%-ным раствором замедлителя горения плазмообработанных образцов. Показатель воспламеняемости огнезащитных ПАН волокон после стирки остается высоким (27,0–29,5 % об.).

В источнике [2] приводятся результаты влияния ВЧЕ плазмы пониженного давления на фторполимерное покрытие углеродного волок-

на. В процессе обработки углеродного волокна ВЧЕ плазмой пониженного давления при мощности до 100 Вт, в плазмообразующем газе октафторциклобутане (C_4F_8), установлено, что чем больше по времени обрабатывается волокно в плазме пониженного давления, тем больше толщина покрытия из тетрафторэтилена и октафторциклобутана. Авторами показано, что минимальная толщина покрытия, необходимая для экранирования подложки углеродного волокна, составляет 60–70 нм, которая оценивалась с помощью атомно-силовой микроскопии. Также у углеродного волокна в результате нанесения фторполимерного покрытия наблюдается повышение прочности при растяжении на 25–35 %, теплопроводности на 20–36 %, нагрузки при 10% деформации сжатия на 16 %, модуля упругости при сжатии на 63–76 % относительно контрольного образца.

Воздействие плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на гидрофильные свойства арамидных волокон показано в источнике [3]. Результаты экспериментального анализа арамидного волокна «Кевлар» показали, что режим обработки плазмой ВЧЕ разряда пониженного давления: напряжение на аноде 4,5 В, сила тока на аноде 0,4 А, время обработки 2,5 мин приводит к улучшению капиллярности на 40 % относительно контрольного образца.

В источнике [4] представлены результаты влияния плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на адгезионные и физико-механические свойства арамидных и углеродных волокон. Плазменная обработка арамидных и углеродных волокон осуществлялась на установке Nordson March AP-1500 в режиме: расход плазмообразующего газа 0,05 см³/с, мощность разряда 1000 Вт, время обработки 3 мин, давление вакуумной камеры от 5 до 35 Па. В качестве плазмообразующего газа были использованы аргон и воздух. Зависимость высоты капиллярного поднятия связующего по арамидным волокнам от давления вакуумной камеры показывают, что лучшей обработка является при давлении в вакуумной камеры 5 Па в аргоне и 35 Па в воздухе. А зависимость поднятия высоты связующего по углеродным волокнам от давления вакуумной камеры показывает, что экстремум проявляется при 25 Па для аргона и воздуха. Повышение

либо понижение давления в вакуумной камере приводит к снижению показателя капиллярности.

Воздействие плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на базальтовое волокно исследовалось в работе [5]. Установлено, что обработка базальтовых волокон ВЧЕ плазмой пониженного давления в режиме: мощность разряда 2,2 кВт, время обработки 10 мин, давление в рабочей камере 26,6 Па, вид плазмообразующего газа аргон-воздух (50/50 %) приводит к повышению высоты капиллярности на 104 % относительно контрольного образца.

В работе [6] проводятся результаты влияния плазмы тлеющего разряда пониженного давления в газовой среде азота на ПАН волокна. Плазменная обработка проводилась в режиме: частота генератора 13,56 МГц, давление в рабочей камере 25 Па, мощность разряда 300 Вт, время обработки 1–7 мин. Результаты показывают, что все образцы после плазменной обработки тлеющего разряда пониженного давления продемонстрировали уменьшение краевого угла смачивания, при этом наименьшее значение составило 55 % относительно контрольного образца при обработке в течение 3 мин.

Технологический процесс производства волокна из полиакрилонитрила состоит из нескольких ключевых этапов: синтез полиакрилонитрила, получение текстильного раствора, подготовка раствора к формованию, формование волокна, ориентационное вытягивание и окончательная отделка полученного волокна [7]. Как отмечает автор [8], для получения волокна с наилучшими характеристиками оптимальная молекулярная масса полиакрилонитрила должна составлять 40000–60000 а. е. м. Полимер, состоящий из молекулярной массы ниже 10000 а. е. м., не позволяет формировать волокна.

ПАН волокна представляют собой одни из широко применяемых синтетических волокон в промышленности, обладающих возможностью изменения своих характеристик в значительном диапазоне путем применения различных методов модификации. Изменение функциональных свойств текстильных материалов с помощью химической или физической модификации требует значительно меньших ресурсных затрат и времени по сравнению с разработкой принци-

пильно новых видов волокон [9]. В контексте решения этого вопроса, наиболее эффективным является использование ВЧЕ плазменной обработки пониженного давления, так как она обладает экологической безопасностью и не требует химического контакта в процессе обработки материала.

Целью работы является исследование влияния плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на адгезионные свойства ПАН волокон для дальнейшего применения их в качестве армирующего компонента в композиционных материалах. В качестве объектов исследования использовались ПАН волокна производства ООО «Алабуга-Волокно».

Научная новизна данного исследования заключается в выявлении наилучшего режима ВЧЕ плазменной обработки, позволяющего повысить адгезию ПАН волокон (армирующего компонента) к эпоксидному связующему (матрице) при получении композиционных материалов.

Для модификации ПАН волокна использовалась высокочастотная плазменная установка емкостного разряда с плоско-параллельными электродами, состоящая из вакуумной камеры, высокочастотного генератора, системы регулятора подачи плазмообразующего газа, диагностической аппаратуры [10]. Режимы плазменной обработки представлены в таблице 1.

Для оценки адгезионных свойств между ПАН волокнами и материалом матрицы, состоящим из эпоксидной смолы с отвердителем, применен метод wet-pull-out. После полного отверждения связующего вещества, образцы композитного материала были закреплены в зажимах разрывной машины Shimadzu AGS-X (Япония) и подвергались растяжению, путем вытягивания волокна

из отвержденного связующего. Это позволило определить величину разрушающей нагрузки, что является мерой адгезионной прочности соединения [11]. Одним из показателей, косвенно влияющих на адгезионные свойства, является капиллярность, которую можно оценить с помощью высоты капиллярного подъема воды (h , в мм) по пучку ПАН волокон. Определение проводилось в соответствии с ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81) [12]. Для определения этих показателей было проведено 5 измерений, на равном расстоянии друг от друга, состоящих из 10 нитей в каждом пучке волокон.

Использование предварительной плазменной обработки ПАН волокон для улучшения смачиваемости их поверхности и улучшения гигроскопических свойств позволит улучшить пропитку модифицирующими составами, а также получать на их основе многослойные материалы с повышенными адгезионными свойствами.

Зависимость изменения капиллярности от режима высокочастотной плазменной обработки пониженного давления представлена на рисунке 1.

Из результатов, представленных на рисунке 1 видно, что происходит повышение капиллярности ПАН волокон после плазменной обработки во всех режимах. Это можно объяснить тем, что в процессе плазменной обработки пониженного давления в среде воздуха образуются реакционноспособные группы кислорода и азота, которые в свою очередь связываются на поверхности волокна, образуя функциональные полярные группы.

Установлено, что у образца, обработанного при 1500 Вт, наблюдается наибольшее повышение капиллярности (на 52 %) по сравнению

Таблица 1 – Режимы плазменной обработки ПАН волокон

Образец	Плазмообразующий газ	Расход газа, г/с	Давление вакуумной камеры, Па	Время обработки, мин	Мощность разряда (W_p), Вт
1	Воздух	0,04	20	20	1000
2					1500
3					2000

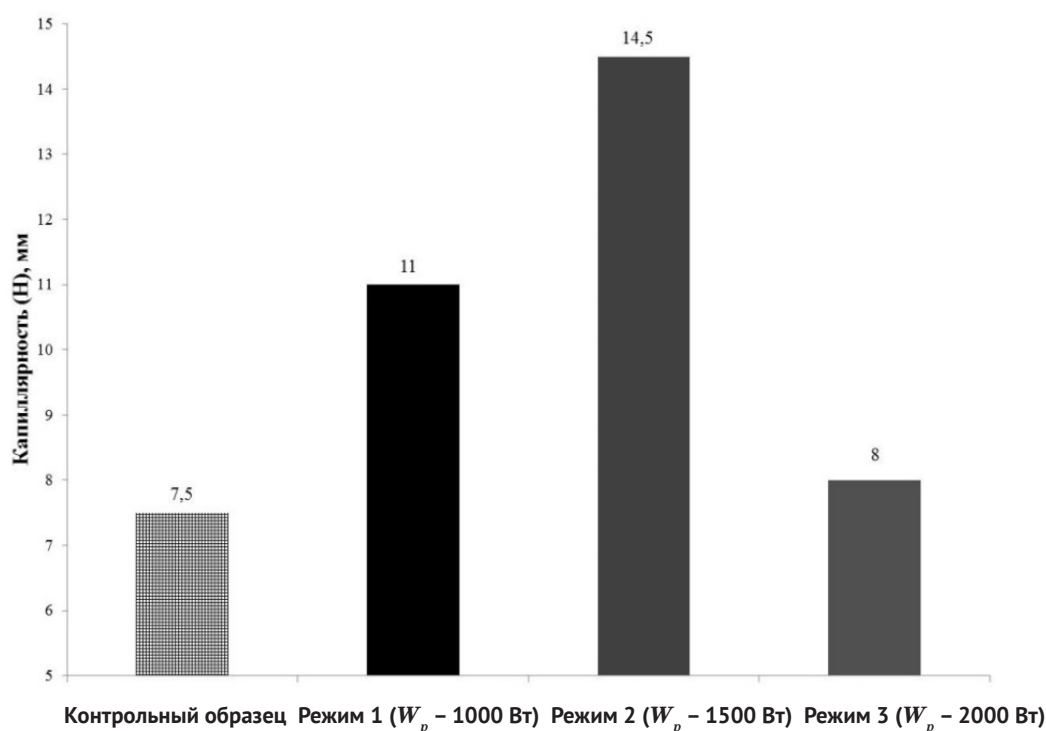


Рисунок 1 – Зависимость капиллярности ПАН волокон от мощности разряда ВЧЕ плазменной обработки пониженного давления

с контрольным образцом, не прошедший плазменную обработку.

Высокие адгезионные свойства волокон необходимы для обеспечения эффективной передачи нагрузки между волокнами и матрицей, что повышает прочность и устойчивость материала к разрушению.

Результаты определения нормированной величины разрушающей нагрузки композита на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего методом wet-pull-out в зависимости от режима плазменной обработки представлены на рисунке 2, нагрузка в момент выдергивания ПАН волокна представлена в таблице 2.

Результаты, представленные на рисунке 2 и в таблице 2 демонстрируют, что наилучший режим плазменной обработки для достижения максимальной нагрузки (выше на 45,4 % относительно контрольного образца) и нормированная величина разрушающей нагрузки композитов на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего (выше на 53 % относительно контрольного

образца) наблюдаются у образца прошедшего плазменную обработку при мощности разряда $W_p = 1500$ Вт. Повышение данных показателей у модифицированных образцов свидетельствует о более интенсивном взаимодействии волокон с эпоксидным связующим.

Вывод. Таким образом, исследование показало, что модификация ПАН волокон с использованием плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления способствует улучшению адгезионных свойств и капиллярности. Это может быть особенно полезно в промышленных процессах производства текстильных и строительных изделий, где требуется надежное соединение между компонентами. Одним из ключевых результатов исследования является выявление наилучшего режима ВЧЕ плазменной обработки ($W_p = 1500$ Вт), который приводит к повышению нормированной величины разрушающей нагрузки композитов на основе ПАН волокна и эпоксидного связующего на 53 % и капиллярности на 52 % относительно контрольного образца.

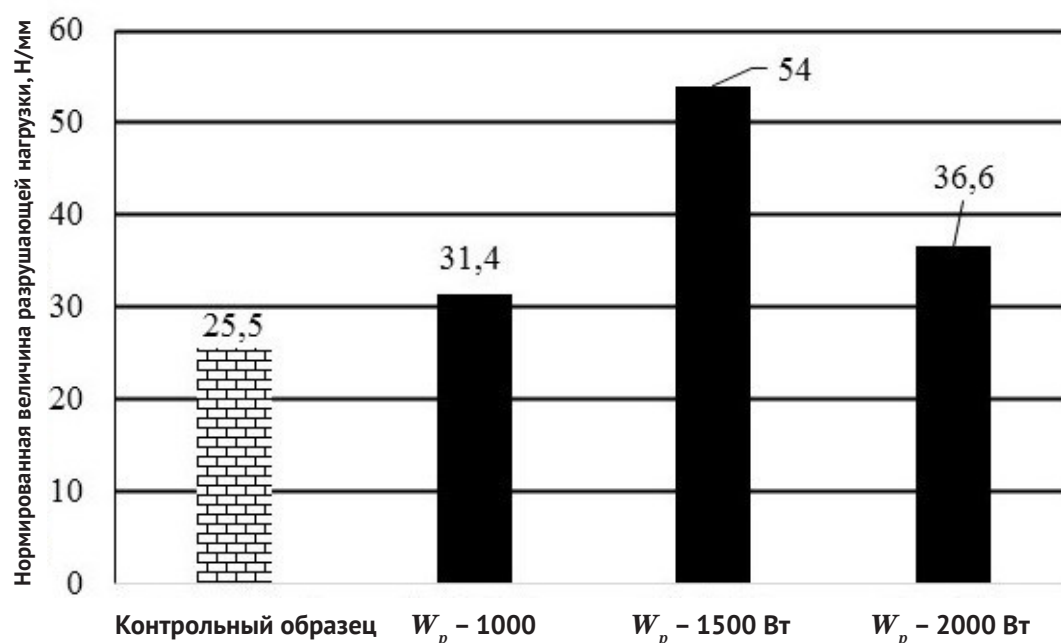


Рисунок 2 – Влияние плазмы ВЧЕ разряда пониженного давления на значение нормированной величины разрушающей нагрузки композита

Таблица 2 – Влияние ВЧЕ плазмы пониженного давления на максимальную нагрузку в момент выдерживания ПАН волокна

Образец	Нагрузка, Н
Контрольный образец	97,1
$W_p - 1000 \text{ Вт}$	138,2
$W_p - 1500 \text{ Вт}$	178,1
$W_p - 2000 \text{ Вт}$	128,9

В целом, данное исследование подтверждает потенциал ВЧЕ плазменной обработки для повышения адгезионных свойств как ПАН волокон, так и других синтетических волокон и указывает на необходимость дальнейших исследований в этой области.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бесшапошникова, В. И., Бесшапошникова, Н. В., Лебедева, Т. С., Загоруйко, М. В. (2018), Огнезащитная модификация полиакрилонитрильных волокон, обработанных ВЧЕ плазмой пониженного давления, *Theoretical & Applied Science*, 2018, № 11 (67), С. 47–53.

2. Шелестова, В. А., Жандаров, С. Ф., Данченко, С. Г., Гракович, П. Н. (2014), Модифицирование поверхности углеродных волокон фторполимером в низкотемпературной плазме, *Физика и химия обработки материалов*, 2014, № 4, С. 12–19.
3. Сергеева, Е. А., Ибатуллина, А. Р. (2012), Изменение поверхностных и физико-механических свойств арамидных волокон, модифицированных потоком плазмы высокочастотного емкостного разряда пониженного давления, *Вестник Казанского технологического университета*, 2012, Т. 15, № 4, С. 63–66.
4. Антипов, Ю. В., Круглов, Е. В., Пахомов, К. С., Чалых, А. Е. (2021), Влияние потока плазмы высокочастотного емкостного разряда пониженного давления на адгезионные и физико-механические характеристики арамидных и углеродных волокон, *Пластические массы*, 2021, № 10, С. 8–11.
5. Карноухов, А. Е., Каримуллин, И. И., Харапудько, Ю. В. (2018), Исследование влияния ВЧЕ-разряда на впитываемость полимерного связующего базальтовым волокном, *Международный академический вестник*, 2018, № 1-2 (21), С. 31–32.
6. Yan Chun Liu, Da Nian Lu (2006), Surface Energy and Wettability of Plasma-treated Polyacrylonitrile Fibers, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2006, I. 26, pp. 119–126.
7. Беркович, А. К. (2010), Синтез полимеров на основе акрилонитрила, *Технология получения ПАН и углеродных волокон*, Москва, 63 с.
8. Циркина, О. Г. (2010), *Производство химических волокон*, Иваново, 64 с.
9. Султонова, Н. С., Шаманов, Ш. Х., Хасанова, С. Х. (2023), Модификации синтетического волокна поливиниловым спиртом, *Научный журнал Инвольта*, 2023, Т. 2, № 5, С. 111–114.
10. Абдуллин, И. Ш. (2000), *Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях*, Казань, 348 с.
11. Тимошина, Ю. А., Вознесенский, Э. Ф. (2021), Влияние ВЧ плазменной модификации на адгезионные свойства полипропиленовых волокон, *Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий*, 2021, С. 165–167.
12. ГОСТ 3816-81 (ИСО 811-81). *Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоталкивающих свойств*, введ. 01.07.1982, (1982), Москва, Издательство стандартов, 14 с.

REFERENCES

1. Besshaposhnikova, V. I., Besshaposhnikova, N. V., Lebedeva, T. S., Zagorujko, M. V. (2018), Fire-retardant modification of polyacrylonitrile fibers treated with low pressure plasma [Ognezashhitnaja modifikacija poliakrilonitril'nyh volokon, obrabotannyh VChE plazmoj ponizhennogo davlenija], *Theoretical & Applied Science*, 2018, № 11 (67), pp. 47–53.
2. Shelestova, V. A., Zhandarov, S. F., Danchenko, S. G., Grakovich, P. N. (2014), Modification of the surface of carbon fibers with a fluoropolymer in low-temperature plasma [Modificirovanie poverhnosti uglerodnyh volokon ftorpolimerom v nizkotemperaturnoj plazme], *Fizika i himija obrabotki materialov – Physics and chemistry of materials processing*, 2014, № 4, pp. 12–19.
3. Sergeeva, E. A., Ibatullina, A. R. (2012), Changes in the surface and physical-mechanical properties of aramid fibers modified by a low-pressure radio-frequency capacitive discharge plasma flow [Izmenenie poverhnostnyh i fiziko-mehanicheskikh svojstv aramidnyh volokon, modifitsirovannyh potokom plazmy vysokochastotnogo emkostnogo razrjada ponizhennogo davlenija], *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta – Herald of Kazan Technological University*, 2012, T. 15, № 4, P. 63–66.
4. Antipov, Yu. V., Kруглов, E. V., Pakhomov, K. S., Chalykh, A. E. (2021), Influence of low-pressure high-frequency capacitive discharge plasma flow on the adhesive and physical-mechanical characteristics of aramid and carbon fibers [Vlijanie potoka plazmy vysokochastotnogo emkostnogo razrjada ponizhennogo davlenija na adgezionnye i fiziko-mehanicheskie harakteristiki aramidnyh i uglerodnyh volokon], *Plasticheskie massy – Plastic masses*, 2021, № 10, P. 8–11.

5. Karnoukhov, A. E., Karimullin, I. I., Kharapudko, Yu. V. (2018), Study of the influence of RF discharge on the absorption of a polymer binder by basalt fiber [Issledovanie vlijanija VChE-razrjada na vpityvaemost' polimernogo svjazujushhego bazal'tovym voloknom], *Mezhdunarodnyj akademicheskij vestnik – International Academic Bulletin*, 2018, № 1-2 (21), pp. 31–32.
6. Yan Chun Liu, Da Nian Lu (2006), Surface Energy and Wettability of Plasma-treated Polyacrylonitrile Fibers, *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2006, I. 26, pp. 119–126.
7. Berkovich, A. K. (2010), *Cintez polimerov na osnove akrilonitrila. Tehnologija poluchenija PAN i uglerodnyh volokon* [Synthesis of polymers based on acrylonitrile. Technology for producing PAN and carbon fibers], Moscow, 63 p.
8. Cirikina, O. G. (2010), *Proizvodstvo himicheskikh volokon* [Manufacturer of chemical fibers], Ivanovo, 64 p.
9. Sultonova, N. S., Shamanov, Sh. Kh., Khasanova, S. Kh. (2023), Modifications of synthetic fibers with polyvinyl alcohol [Modifikacii sinteticheskogo volokna polivinilovym spirtom], *Nauchnyj zhurnal Invol'ta – Scientific journal Involta*, 2023, Vol. 2, № 5, pp. 111–114.
10. Abdullin, I. Sh. (2000), *Vysokochastotnaja plazmenno-strujnaja obrabotka materialov pri ponizhennyh davlenijah* [Radio-frequency plasma-jet processing of materials at low pressures], Kazan, 348 p.
11. Timoshina, Yu. A., Voznesensky, E. F. (2021), Effect of RF plasma modification on the adhesive properties of polypropylene fibers [Vlijanie VCh plazmennoj modifikacii na adgezionnye svojstva polipropilenovyh volokon], *Nauchnye issledovanija i razrabotki v oblasti dizajna i tehnologij – Research and development in design and technology*, 2021, pp. 165–167.
12. GOST 3816-81 (ISO 811-81). *Textile fabrics. Methods for determining hygroscopic and water-repellent properties* [Polotna tekstil'nye. Metody opredelenija gigroskopicheskikh i vodoottalkivajushhih svojstv], introduced 07/01/1982, (1982), Moscow, Standards Publishing House, 14 p.

Информация об авторах

Information about the authors

Баллыев Салих

Кандидат технических наук, инженер кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: Archimurr87@gmail.ru

Сагитова Фарида Равиленовна

Кандидат технических наук, ведущий инженер кафедры «Технологии лакокрасочных материалов и покрытий», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: farida_sagitova@mail.ru

Шарифуллин Фарид Саидович

Доктор технических наук, профессор кафедры «Плазмохимические и нанотехнологии высокомолекулярных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет, Российская Федерация.

E-mail: Sharifullin80@mail.ru

Salih Ballyev

Candidate of Sciences (in Engineering), Engineer at the Department "Plasma-chemical and Nanotechnologies of High-molecular Materials", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: Archimurr87@gmail.ru

Farida R. Sagitova

Candidate of Sciences (in Engineering), Leading Engineer at the Department "Technology of Paints and Varnishes and Coatings", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: farida_sagitova@mail.ru

Farid S. Sharifullin

Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department "Plasma-chemical and Nanotechnologies of High-molecular Materials", Kazan National Research Technological University, Russian Federation.

E-mail: Sharifullin80@mail.ru

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВИЗАЦИИ КОММУНИКАЦИЙ В БАНКОВСКОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

И.А. Богатко^{1,2}, Е.В. Ванкевич²

¹Дирекция ОАО «Белинвестбанк» по Витебской области, Республика Беларусь

²Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Актуальность цифровизации банковских коммуникаций обусловлена нарастанием конкуренции среди коммерческих банков Республики Беларусь в части наращивания и удержания клиентской базы. Для снижения затрат и трудоемкости коммуникация с клиентом должна быть организована с максимально возможным снижением участия человека в решении вопросов. Большинство обращений должны удовлетворяться круглосуточно с первого онлайн-обращения. Для отслеживания индекса потребительской лояльности и удовлетворенности клиентов необходимо на каждом этапе коммуникации получать обратную связь.

Целью исследования является разработка направлений цифровизации коммуникаций, используемых коммерческими банками Республики Беларусь.

В рамках настоящего исследования изучен зарубежный опыт цифровизации банковских коммуникаций; проведен анализ контента официальных сайтов белорусских банков, используемых ими инструментов автоматизации коммуникаций; предложены направления повышения эффективности коммуникаций в банковском секторе Республики Беларусь.

Исследование показало, что коммерческие банки Республики Беларусь находятся на начальном этапе автоматизации коммуникаций, имеют различный уровень автоматизированной коммуникации. Полученные результаты позволили сделать вывод, что для повышения эффективности коммуникаций в банковском секторе Республики Беларусь необходимо разработать омниканальную коммуникационную стратегию, сохранить баланс между автоматизацией коммуникаций и персонализированным подходом, доработать чат-боты, организовать обратную связь и защиту персональных данных.

Ключевые слова: банковские коммуникации; цифровизация коммуникаций, автоматизация коммуникаций; чат-бот; виртуальный помощник; защита персональных данных; многоканальное банковское обслуживание; омниканальная коммуникационная стратегия.

Информация о статье: поступила 2 октября 2023 года.

MAJOR DIRECTIONS OF DIGITALIZATION OF COMMUNICATIONS IN THE BANKING SECTOR OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Iryna A. Bahatka^{1,2}, Alena V. Vankevich²

¹Directorate of JSC Belinvestbank in Vitebsk region, Republic of Belarus

²Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

ABSTRACT

In the context of accelerated digital transformation in the banking sector of the Republic of Belarus, in order to increase the customer base, banks have to transit from simple servicing in sales offices to building effective online communications. Individual communication is expensive and time-consuming. Therefore, communication with the client should be organized with the maximum possible reduction of human participation in solving issues. Most

requests should be satisfied around the clock from the first online request. To track the index of consumer loyalty and customer satisfaction, it is necessary to receive feedback at every stage of communication.

The purpose of the research is to develop directions for digitalization of communications used by commercial banks of the Republic of Belarus.

Within the framework of this study, the foreign experience of digitalization of banking communications has been studied; the content of the official websites of Belarusian banks and the communication automation tools they use has been analyzed; directions for improving the efficiency of communications in the banking sector of the Republic of Belarus have been proposed.

The study showed that commercial banks of the Republic of Belarus are at the initial stage of automation of communications, there is a significant variation in the levels of digitalization of communications of different banking institutions. The obtained results led to the conclusion that in order to improve the efficiency of communications in the banking sector of the Republic of Belarus, it is necessary to develop an omnichannel communication strategy, maintain a balance between automation of communications and a personalized approach, refine chatbots, organize feedback and ensure personal data protection.

Keywords: banking communications; digitalization of communications; automation of communications; chatbot; virtual assistant; personal data protection; multi-channel banking service; omnichannel communication strategy.

Article info: received October 2, 2023.

ВВЕДЕНИЕ

С 20-х годов XXI века началась ускоренная цифровая трансформация в банковском секторе Республики Беларусь. Причинами этого стал рост удаленной работы в период пандемии коронавируса COVID-19, а также увеличение количества жителей Республики Беларусь, пользующихся интернетом. Общая численность населения в Беларуси в январе 2023 года составляет 9,52 млн человек, из которых 8,27 млн – интернет-пользователи [5].

С учетом указанных фактов для наращивания клиентской базы банки должны перейти от простого обслуживания в офисах продаж к построению эффективных онлайн-коммуникаций. Индивидуальное общение является дорогостоящим и трудоемким. Следовательно, коммуникация с клиентом должна быть организована с максимально возможным снижением участия человека в решении вопросов.

Автоматизация коммуникаций необходима для ускорения получения клиентом ответа специалиста и решения своего вопроса – большинство обращений должны удовлетворяться круглосуточно с первого онлайн-обращения. Важно также автоматизировано получать обратную связь для отслеживания индекса потребительской лояльности и удовлетворенности клиентов.

Актуальность темы исследования подтверждают и цифровые показатели – согласно от-

чету международной консалтинговой компании McKinsey «Изменение банковского дела с помощью искусственного интеллекта», автоматизация коммуникаций позволяет на 15–20 % повысить удовлетворенность клиентов, на 20–40 % снизить расходы и на 20 % повысить конверсию [30, с. 2].

Целью исследования является разработка направлений цифровизации коммуникаций, используемых коммерческими банками Республики Беларусь, на основе оценки их текущего состояния и изучения зарубежного опыта.

Для достижения поставленной цели выделены следующие задачи:

- изучение зарубежного опыта цифровизации банковских коммуникаций;
- проведение анализа контента официальных сайтов белорусских банков, используемых ими инструментов цифровизации коммуникаций по следующим направлениям: оперативность, работа чат-бота, наличие обратной связи, безопасность персональных данных;
- разработка основных направлений повышения эффективности коммуникаций в банковском секторе Республики Беларусь.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ЦИФРОВИЗАЦИИ БАНКОВСКИХ КОММУНИКАЦИЙ

Вопросам исследования банковских коммуникаций посвящены работы ряда авторов. В ра-

ботах Косторной Я.А. [14], и Старковой Н.О. [31] рассматриваются подходы к применению маркетинговых коммуникаций современными банками для установления более прочных связей со своими потенциальными клиентами. Отдельно следует выделить работы авторов по изучению направлений цифровизации коммуникаций в банковской сфере [15], проблем, связанных с внедрением и использованием современных технологий при автоматизации банковских коммуникаций [13].

Анализ зарубежного опыта обслуживания клиентов в банковской сфере позволил выделить следующие тенденции, совпадающие с тенденциями, наблюдающимися в банковском бизнесе Республики Беларусь [10]:

- усиление конкуренции в банковской сфере и, как следствие, уход от традиционных отношений с клиентами;
- глобальная цифровизация, изменившая ожидания клиентов, включив в них круглосуточное самообслуживание, оперативные ответы и персонализированное общение по всем каналам обслуживания и платежным платформам;
- рост киберпреступности – для доверия клиентов банкам необходимо обеспечить безопасность и конфиденциальность.

В отчете консалтинговой компании McKinsey «Лучшее из обоих миров: баланс цифровых и физических каналов» аналитики указали, что в развитых странах банки закрыли 9 % своих отделений в 2021 году – это самое большое количество за пять лет, поскольку они пересмотрели существующие подходы к продажам и обслуживанию. Закрытие отделений вызвано как пандемией, так и изменениями в поведении потребителей – ускоренный переход на цифровые каналы при снижении спроса на услуги в физических каналах [3].

Специалисты отмечают, что цифровизация банков в настоящее время находится в эпохе диалоговой коммерции (с 2017 года), которая сменила эпоху онлайн- и мобильного банкинга (2012–2017 гг.) [11]. Началом периода диалоговой коммерции послужило развитие диалогового искусственного интеллекта и рост количества мобильных приложений.

Диалоговая коммерция – эта стратегия электронной коммерции, направленная на общение

с клиентами путем обмена сообщениями с помощью диалоговых технологий искусственного интеллекта и живого чата, чтобы помочь покупателям найти то, что они ищут, и упростить процесс покупки. Одной из отраслей диалоговой коммерции является диалоговый банкинг, также имеющий название «чат-банкинг» [2].

Отчет PriceWaterhouseCoopers (международная сеть компаний, предлагающих услуги в области консалтинга и аудита) «Изменение банковского дела с искусственным интеллектом» показал, что чат-боты входят в тройку самых популярных приложений, в которые инвестируют банковские учреждения [9, с. 50].

Консалтинговая компания Markwebb в декабре 2022 г. представила результаты исследования Chatbot Rank 2022 – сравнительного исследования чат-ботов 11 крупнейших и самых технологичных банков России. Согласно результатам, число успешно обрабатываемых чат-ботами запросов за год выросло в среднем на 9–15 % на каждый блок пользовательских сценариев. У чат-ботов все еще сохраняется репутация инструмента для решения простых задач, и когда речь идет о сложном вопросе, пользователь даже не пытается поручить ее текстовому роботу и сразу просит переключить на оператора-человека – несмотря на то, что бот вполне может справиться. Эффективность работы чат-ботов консалтинговая компания Markwebb оценивала по 9 принципам, согласно которым чат-бот банка должен: решать задачу пользователя, давать оптимальный объем информации, просто подавать информацию, адаптироваться под запрос, эффективно реагировать на негатив, уведомлять об обслуживании ботом, быть вежливым, иметь multifunctional интерфейс, быть интегрированным с другими каналами [30].

Группа компаний Keynova, которая осуществляет мониторинг и анализ цифровых финансовых услуг для потребителей и малого бизнеса, включая банковское дело, выделяет четыре варианта автоматизированной коммуникации банка и клиента:

- чат-боты с запрограммированными ответами;
- чат-боты с двусторонней перепиской в чате;
- текстовый чат в реальном времени;

– виртуальные помощники с помощью искусственного интеллекта или обработки естественного языка.

Самой популярной цифровой поддержкой, предоставляемой 90 % банками, являются чат-боты с запрограммированными ответами и чат-боты с двусторонним обменом сообщениями. Более половины из них (53 %) предоставляют помощь в чате с запрограммированными ответами, еще 24 % обеспечивают двусторонний обмен сообщениями в чат-ботах для прошедших аутентификацию пользователей. Все чаще появляются виртуальные помощники с обработкой естественного языка, способные понимать различные способы, которыми клиенты задают вопросы. Однако, менее 20 % проанализированных компанией Keypova Group банков предлагают виртуальных помощников, основанных на искусственном интеллекте и прогнозной аналитике [7].

В информационных источниках, изученных в рамках настоящего исследования, чаще лучшими признают виртуальных помощников Erica от Bank of America и Smart Assistant от US Bank. Оба указанных помощника поддерживают интерактивные текстовые и голосовые запросы в сочетании с текстовыми и аудиоответами. Кроме того, пользователи могут поручить виртуальным операторам осуществлять платежи от человека к человеку с помощью голосовых инструкций и отображать транзакции по заданным критериям.

Виртуальные помощники с полным спектром услуг встречаются крайне редко даже среди ведущих банков развитых стран. По словам Сьюзен Фулдс, управляющего директора Keypova Group: «Некоторые из тех, кто утверждает, что предлагают виртуальных помощников, на самом деле предоставляют высококласных чат-ботов. Лишь несколько банков действительно внедрили виртуальных помощников» [7].

Зарубежные банки наиболее часто используют чат-боты для достижения следующих целей [1]:

- 1) генерации потенциальных клиентов – чат-боты могут взаимодействовать с посетителями цифровых платформ банка, генерировать лиды и оценивать их с помощью соответствующих вопросов;
- 2) повышения качества обслуживания клиен-

тов, так как чат-боты обеспечивают круглосуточный доступ, не подвержены усталости и имеют последовательный характер работы;

3) сбора отзывов – длинные формы обратной связи и опросы часто утомительны при заполнении, чат-бот упрощает получение отзывов и оценок удовлетворенности обслуживанием;

4) реализации персонализированных маркетинговых стратегий – результаты разговоров с клиентом могут служить аналитической информацией для дальнейших персонализированных сообщений от банка клиенту.

Согласно исследованию глобальной консалтинговой компании Сарсо «Инвестиции в модернизацию цифрового банкинга», мошенничество остается одной из важнейших проблем: 75 % участников опроса назвали проблему мошенничества основной причиной смены банка [4].

Согласно исследованию KPMG (аудиторская компания, входящая в большую четверку наряду с Deloitte, Ernst & Young и PwC, одна из крупнейших в мире сетей, оказывающих профессиональные услуги):

- 86 % потребителей говорят, что конфиденциальность данных вызывает у них растущую озабоченность;
- 68 % обеспокоены уровнем данных, собираемых предприятиями;
- 40 % не верят, что компании могут этично использовать свои данные;
- 30 % не хотят делиться своими личными данными по какой-либо причине [8].

Таким образом, анализ зарубежного опыта показал, что основным направлением цифровизации банковских коммуникаций выступает организация круглосуточного реагирования на запрос клиента путем использования технологий диалогового банкинга (чат-боты, виртуальные помощники). Важными критериями оценки эффективности автоматизации банковских коммуникаций является оперативность, доступность, наличие обратной связи и гарантия безопасности персональных данных.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ БАНКОВСКИХ КОММУНИКАЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В рамках данного исследования проведен анализ использования каналов связи на офици-

альных страницах банков Республики Беларусь. Основными методами анализа являются: анализ контента официальных сайтов коммерческих банков Республики Беларусь и экспертная оценка по критериям оперативности, наличию чат-бота, обратной связи и обеспечению безопасности персональных данных, а также метод «контрольной закупки», адаптированный к оценке эффективности банковских коммуникаций.

Основными каналами связи, которые используются белорусскими банками, являются: контакт-центры; онлайн-чаты на сайтах банка; чат-боты, для предоставления клиентам быстрой, круглосуточной и ежедневной связи; виртуальные помощники; активная форма «общения по запросу», позволяющая клиенту соединиться по аудио- и видеоканалам с банковским консультантом прямо из веб-браузера или возможность обмена экранами (рисунок 1).

Исследование показало, что наиболее распространенным видом коммуникации в Республике Беларусь являются контакт-центры, онлайн-чаты с сайтов банка и автоматические чат-боты. Анализ содержания официальных сайтов коммерческих банков Республики Беларусь показал,

что телефонная связь со специалистами банка (контакт-центр) организована всеми банками. У одиннадцати банков (52,4 % от общего количества банков) работа контакт-центра организована 24 часа 7 дней в неделю. У десяти банков (47,6 %) клиент может связаться со специалистом банка по установленному режиму работы, в том числе у 3 из них – только по будним дням. Контакт-центр «А-Сервис» ЗАО «Альфа-Банк» (Беларусь) подтвердил соответствие международному стандарту качества обслуживания клиентов EN 15838, то есть он является единственным контакт-центром в Республике Беларусь, соответствующим европейскому стандарту качества в области контакт-центров EN 15838:2009.

Онлайн-чат со специалистом банка реализован на 11 официальных страницах белорусских банков, его режим работы полностью совпадает с режимом работы контакт-центра. Виртуальные помощники реализованы пятью банками: ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «Белагропромбанк», ОАО «Белинвестбанк», ОАО «Сбер Банк» и ОАО «Белгазпромбанк». Работа виртуальных помощников ОАО «Белагропромбанк» и ОАО «Белинвестбанк» организована по подо-



Рисунок 1 – Использование каналов связи коммерческими банками Республики Беларусь, 2023

Источник: собственная разработка авторов.

бию чат-ботов и полностью дублирует их работу: одинаковые задаваемые вопросы и получаемые ответы, их последовательность и скорость получения.

Виртуальные помощники ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «Сбер Банк» и ОАО «Белгазпромбанк» созданы в виде визуализированных персонажей, имеющих свои имена. Виртуальный консультант ОАО «АСБ Беларусбанк» – Злата – приступила к работе в октябре 2018 г. и, по мнению специалистов контакт-центра ОАО «АСБ Беларусбанк», она стала дополнительным и достаточно продуктивным каналом коммуникаций с клиентами.

ОАО «Сбер Банк» организовал работу виртуального помощника Алеси, которая круглосуточно готова предоставлять нужную информацию о продуктах и услугах, а также осуществлять сервисные операции без комиссий: например, сказать остаток по карте, сбросить счётчик ПИН-кода и др.

ОАО «Белгазпромбанк» запустил виртуального ассистента Полину в августе 2020 г. Сначала это был только голосовой ассистент, в настоящее время в любом канале коммуникации банка Полина подключается первой. В случае, если она затрудняется ответить, к беседе подключается специалист банка.

В рамках данного исследования проведен анализ использования чат-ботов банками Республики Беларусь. В каждый банк с помощью мессенджеров и/или онлайн-чата на официальной странице банка направлен идентичный запрос, обращение направлено в ночное время, чтобы оценить автоматизацию процесса общения с клиентами в круглосуточном доступе. Только десять белорусских банков из 21 проанализированного действительно реализовали чат-бот – автоматизированный диалог для общения с клиентом. В большинстве случаев он реализован на базе мессенджеров. Шесть банков при переходе на общение в мессенджере представляют диалог как чат-бот, однако диалог проходит не автоматизированно, а путем присоединения к общению с клиентом оператора – специалиста банка. Пять банков (ЗАО «Банк ВТБ» (Беларусь), ЗАО «ТК Банк», ЗАО «БТА Банк», ОАО «СтатусБанк», ЗАО «Цептер Банк») не используют чат-боты, или выход на них через официальную

страницу банка в интернете крайне затруднен. Ответ на поставленный вопрос в ночное время дан быстро и в соответствии с запросом чат-ботами ОАО «Банк Дабрабыт», ОАО «Сбер Банк», ОАО «Банк БелВЭБ», ЗАО «Альфа-Банк», ЗАО «БСБ Банк». Чат-бот ОАО «Сбер Банк», ОАО «Белгазпромбанк» и ОАО «Паритетбанк» способен в любой момент подключить к диалогу специалиста, что позволит с большей вероятностью решить вопрос клиента и, соответственно, повысит удовлетворенность клиента от коммуникации с банком.

Отдельно следует отметить возможность, реализованную на сайте ОАО «Приорбанк» – совместный просмотр страниц сайта. Ей можно воспользоваться в случае, если клиент находится на связи с оператором контакт-центра. Это единственный банк, который указал такой канал связи с клиентами.

Одним из важных направлений оценки эффективности автоматизации коммуникаций является организация обратной связи. По результатам обратной связи банки могут оценить удовлетворенность клиента ответом на вопрос, с которым обращался, и в целом работой банка, а также выявить необходимость дополнительной связи (использование проактивного контакта). Анализ показал, что оценить диалог с чат-ботом и/или виртуальным помощником предложено только тремя банками ОАО «Сбер Банк», ОАО «Белгазпромбанк» и ОАО «Белагропромбанк». Диалог в каналах связи без участия специалиста у указанных банков заканчивается вопросом о том, был ли получен ответ на вопрос (доволен ли клиент результатом), и просьбой оценить качество консультации. При негативной оценке качества консультации ОАО «Белгазпромбанк» автоматически переводит беседу на специалиста для дальнейшего решения вопроса клиента.

В условиях цифровизации банковских коммуникаций вопрос обеспечения защиты персональных данных становится приоритетным. В Беларуси по итогам первого квартала 2023 года основная доля мошенничества приходится на социальную инженерию – около 70 %. Злоумышленники используют различные каналы, чтобы связаться с жертвой: телефонные звонки, мессенджеры, торговые площадки, социальные

сети. Гарантированно противостоять мошенникам может только сам пользователь, действуя осознанно и с разумной осторожностью относясь к любым сообщениям и входящим звонкам. Фишинговые рассылки и сайты становятся более персонализированными и их сложнее отличить от легитимных. Поддельные сайты внешне практически не отличаются от оригинальных, что усложняет задачу по их выявлению даже у продвинутых пользователей. В 1 квартале 2023 года особенно активно стала использоваться схема мошенничества с кредитами, которые держатели самостоятельно оформляют, а затем переводят полученные кредитные средства в адрес мошенников [16].

Проведенное исследование показало, что в части предупреждения о случаях мошенничества, как критерия эффективности, следует отметить ОАО «АСБ Беларусбанк», ОАО «Белагропромбанк» и ОАО «Банк БелВЭБ». В указанных банках в каналах связи при начале диалога обращается внимание клиента: «...не указывать в диалоге информацию о номерах счетов, номерах банковских платежных карточек, сроках их действия, кодах защиты CVV2/CVC2, идентификационных данных, номерах телефонов». В части работы с персональными данными необходимо отметить ОАО «Приорбанк»: диалог возможен только после получения от клиента согласия на обработку персональных данных и подтверждения ознакомления с информацией о порядке обработки персональных данных по указываемой ссылке. По ссылке клиент переходит к информации об обработке персональных данных и правах субъекта персональных данных при использовании сервиса «Чат» ОАО «Приорбанк».

Таким образом, исследование цифровизации банковских коммуникаций в Республике Беларусь показало, что коммерческие банки Республики Беларусь находятся на начальном этапе автоматизации коммуникаций: в большинстве случаев каналы связи не автоматизированы, чат-боты есть не у всех банков, иногда предлагаемый чат-бот является диалогом со специалистом по мессенджеру, не все банки предлагают круглосуточный доступ к каналам связи, обратная связь налажена в единичных случаях. Следует отметить существенный разброс в уровнях цифровизации коммуникаций: коммуникации одной

части коммерческих банков соответствовали установленным критериям оценки, при этом в ряде банков полностью отсутствуют автоматизированные каналы связи.

НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММУНИКАЦИЙ В БАНКОВСКОМ СЕКТОРЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ НА ОСНОВЕ ИХ АВТОМАТИЗАЦИИ

Анализ зарубежного опыта автоматизации коммуникаций показал, что чат-боты используются для генерации лидов, путем оценки пользователей с помощью соответствующих вопросов, а также помогают реализовывать персонализированные маркетинговые стратегии. Следовательно, первым направлением развития цифровых технологий в банковском секторе Республики Беларусь является использование чат-ботов. Банки Республики Беларусь могут организовать чат-боты (при их отсутствии) или усовершенствовать работу действующих чат-ботов, не только для ответов на вопросы клиентов, но и для привлечения новых потенциальных клиентов и сбора аналитической информации для формирования персонализированных стратегий.

Для повышения эффективности банковских коммуникаций при организации работы чат-ботов коммерческим банкам Республики Беларусь важно предусмотреть следующие действия, которые позволят перевести пользователя в статус потенциального клиента:

- после консультации отправлять пользователю сообщение «если Вас заинтересовал один из предложенных продуктов или Вы хотели бы получить более подробную информацию, укажите номер телефона, и мы свяжемся с Вами, для удобства можете указать удобное для Вас время для связи»;

- после завершения диалога отправлять сообщение с дополнительными вопросами («Хотите ли Вы получить выгодный курс при покупке валюты?», «Хотите ли получить дополнительный доход по Вашим сбережениям?» и др.). Полученные ответы стали бы основой для формирования клиенту персонализированного предложения, также они позволили бы сформировать общую матрицу поведения клиентов и эффективную продуктовую матрицу.

Для взаимодействия с существующими и по-

тенциальными потребителями недостаточно использования одного коммуникационного канала. Современным потребителям важна возможность осуществить взаимодействие с компанией тогда, когда им удобно и тем способом, которым им удобно и вместе с этим получить единый клиентский опыт. По данным отчета World Retail Banking за 2021 год, почти 80 % потребителей ожидают многоканального банковского обслуживания. Следовательно, автоматизация коммуникаций должна проводиться в дополнение существующим видам коммуникаций банка с клиентом, что обеспечит эффективное многоканальное банковское обслуживание [12].

В настоящее время, кроме понятия «многоканальный» часто используется понятие «омниканальный» [6]. Стратегия многоканальной коммуникации означает, что компания использует несколько каналов коммуникаций (задействованные каналы функционируют по отдельности и не связаны между собой, поэтому клиенты не могут продолжить разговор или легко перейти от одного канала к другому). В отличие от многоканальной, омниканальная стратегия направлена на объединение всех каналов коммуникаций в единую систему.

Основным направлением повышения эффективности коммуникаций в банковском секторе Республики Беларусь является создание омниканальной коммуникационной стратегии. Целью стратегии станет объединение в общую систему всех существующих у банка каналов коммуникаций между собой. При этом эффективность разработанной и внедренной стратегии будет зависеть не только от количества каналов связи, но и от уровня используемых технологий, позволяющих объединить каналы связи в единую платформу.

В случае принятия банком решения об инвестировании в развитие своих коммуникационных стратегий, более эффективным является использование именно омниканальных коммуникаций, что обеспечит следующие преимущества:

- 1) индивидуальный подход – обеспечивает сочетание цифрового и личного взаимодействия;
- 2) более быстрое решение проблем – например, если у клиента возникают проблемы с использованием платформы онлайн, он может

переключиться на мобильное приложение или позвонить в колл-центр для получения помощи. Возможность переключения каналов помогает гарантировать, что клиенты всегда могут найти способ получить доступ к необходимой им помощи и своевременно решить проблемы;

3) минимальные затраты – снижение затрат за счет минимизации потребности обращаться в отделения банка, единая платформа дает возможность переключать каналы и обрабатывать больше взаимодействий с теми же ресурсами;

4) повышение клиентского опыта и удержания клиентов – повышает удобство, дает положительный опыт, что приводит к увеличению количества довольных клиентов, повышает лояльность и доверие.

Важным фактором эффективности в организации многоканального банковского обслуживания является сохранение персонализации коммуникаций. Согласно исследованию глобальной консалтинговой компании Сарсо «Инвестиции в модернизацию цифрового банкинга», проведенному в 2021 году, 72 % клиентов считают персонализацию важным фактором для банковских и финансовых услуг, только 8 % респондентов не считают так, 20 % респондентов отнеслись к теме нейтрально. Также исследование Сарсо показало, что человеческое общение по-прежнему имеет жизненно важное значение для взаимодействия с клиентами: большинство респондентов опроса (63 %) указали на желание личных бесед один на один с представителями банка, 37 % отдали предпочтение чат-боту или обмену текстовыми сообщениями (SMS) [4].

Данные отчета McKinsey «Лучшее из обоих миров: баланс цифровых и физических каналов» [3] показывают, что 28 % клиентов по-прежнему предпочитают удовлетворять потребности в обслуживании в отделениях, причем их доля возрастает почти до 50 % в деликатных и/или сложных ситуациях (таких как мошенничество и консультации по финансовым трудностям).

Таким образом, правомерно отметить противоречие в банковской сфере: с одной стороны, объективная необходимость цифровизации и автоматизации, с другой стороны – необходимость сохранения персонализированных отношений с каждым отдельным клиентом. Разрешить данное противоречие можно соблюдая баланс. Коммер-

ческим банкам Республики Беларусь при организации автоматизированных коммуникаций следует предусмотреть возможность на любом этапе осуществления диалога с клиентом максимально быстро перейти из онлайн-общения на живое общение со специалистом банка.

На пути к автоматизации коммуникаций в банковском секторе актуальной проблемой, требующей решения, является мошенничество и безопасность персональных данных. Для клиентов важна не только возможность связаться с банком в эпоху омниканальности, но и то, что обработка этого контакта будет максимально безопасной. Ведь клиентам часто приходится предоставлять в банк различные документы, содержащие конфиденциальную информацию и личные данные.

Начало диалога в любом цифровом канале связи должно начинаться с предложения связаться со специалистами банка по телефону или обращения в ближайшее отделение банка, если клиент столкнулся со сложной ситуацией и/или действиями мошенников. В случае продолжения диалога, следующими условиями для предложения клиенту связи со специалистом могут быть:

- неоднократно повторяющиеся одинаковые (схожие) вопросы;
- негативный результат обратной связи: после предоставления автоматического ответа обязательно должно последовать предложение оценить полученный ответ, в случае если оценка низкая, необходимо или переуточнить вопрос, или предоставить возможность связи со специалистом банка.

В качестве направления повышения эффективности автоматизации коммуникаций следует рассмотреть и возможность организации проактивного контакта – часть клиентов могут остановиться на одном из полей при заполнении онлайн-заявки на банковский продукт или услугу в своем личном кабинете или на сайте банка, а после – закрыть заявку, так и не завершив покупку. Используемая банком коммуникационная платформа должна позволять незамедлительно сообщить специалисту банка об отказе от заявки, а использование проактивного контакта (связь с таким клиентом) поможет повысить конверсию.

Чтобы сохранить высокий уровень удовлетворенности клиента от банковского обслуживания,

банки должны приложить все усилия, чтобы быть прозрачными со своими клиентами в отношении того, как они обрабатывают, используют и защищают личные данные. Открытость и честность в отношении политики и методов работы с данными – это простой способ завоевать доверие и обеспечить выполнение требований нормативных актов Республики Беларусь о защите персональных данных.

Таким образом, проведенное исследование позволило выработать следующие рекомендации для повышения эффективности коммуникаций в банковском секторе Республики Беларусь:

- организовать чат-боты (при их отсутствии) или усовершенствовать работу действующих чат-ботов не только для ответов на вопросы клиентов, но и для привлечения новых потенциальных клиентов и сбора аналитической информации для формирования персонализированных стратегий;
- разработать омниканальную коммуникационную стратегию;
- сохранить баланс между автоматизацией коммуникаций и персонализированным подходом, предусмотрев, на любом этапе диалога с клиентом, возможность быстрого перехода из онлайн-общения на общение со специалистом банка;
- организовать обратную связь для выявления слабых и сильных сторон коммуникационной стратегии и сохранении высокого индекса удовлетворенности клиентов;
- организовать защиту персональных данных и обеспечить обучение клиентов для соблюдения ими разумной осторожности и финансовой осознанности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ зарубежного опыта показал, что основным направлением цифровизации банковских коммуникаций выступает организация круглосуточного реагирования на запрос клиента путем использования технологий диалогового банкинга. Важными критериями оценки эффективности автоматизации банковских коммуникаций является оперативность, доступность, наличие обратной связи и гарантия безопасности персональных данных.

Исследование цифровизации банковских коммуникаций в Республике Беларусь показало, что коммерческие банки Республики Беларусь находятся на начальном этапе автоматизации коммуникаций, имеют различный уровень автоматизированной коммуникации.

Для формирования конкурентных преимуществ и возможности выхода на рынок новых клиентов коммерческим банкам Республики Беларусь целесообразно:

- разработать омниканальную коммуникационную стратегию;
- организовать автоматизацию коммуникаций, сохранив при этом персонализированный подход с каждым отдельным клиентом:
 - доработать чат-боты, чтобы они могли предлагать конкретные продукты и оценивать интерес для генерации лидов;
 - организовать обратную связь для возможности развития стратегии и сохранении высокого индекса удовлетворенности клиентов;
 - реализовать проактивный контакт;
 - организовать защиту персональных данных;

– обеспечить обучение клиентов для соблюдения ими разумной осторожности и финансовой осознанности.

Результаты исследования могут быть использованы коммерческими банками Республики Беларусь при формировании маркетинговой стратегии в области организации коммуникаций с клиентами.

В ходе исследования выявлено противоречие между объективной необходимостью цифровизации и автоматизации коммуникаций и необходимостью сохранения персонализированных отношений с каждым отдельным клиентом. Разрешение выявленного противоречия (с одной стороны полная цифровизация и автоматизация, с другой стороны – необходимость сохранения персонализированных отношений с каждым отдельным клиентом) заключается в организации коммуникаций путем цифровизации решений рутинных, стандартных задач, с возможностью быстрого и простого перехода на коммуникацию со специалистом при получении сложного и/или нестандартного запроса.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. 12 Banking Customer Experience Trends to Watch in 2023 (2023), available at: <https://global.hitachi-solutions.com/blog/banking-customer-experience-trends> (accessed 10 august 2023).
2. Banking Chatbots in 2023: Benefits, Use Cases & Best (2023), available at: <https://research.aimultiple.com/banking-chatbot/> (accessed 10 august 2023).
3. Best of both worlds: Balancing digital and physical channels in retail banking (2022), available at: <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/best-of-both-worlds-balancing-digital-and-physical-channels-in-retail-banking> (accessed 10 august 2023).
4. CAPCO Press Release (2023), available at: <https://www.capco.com/en/About-Us/Newsroom-and-media/Banking-Survey-Press-Release> (accessed 28 July 2023).
5. Digital 2023: Belarus (2023), available at: www.datareportal.com/reports/digital-2023-belarus (accessed 10 March 2023).
6. DGBank: digital payment platform (2023), available at: https://www.digipay.guru/blog/omnichannel-banking/Omnichannel_banking_allows_customers_them_to_resolve_problems_quickly (accessed 3 July 2023).
7. Innovative Mobile Banking Support Options Grow but Capabilities Vary Widely (2023), available at: <https://www.keynovagroup.com/press-articles/innovative-mobile-banking-support-options-grow-but-capabilities-vary-widely> (accessed 10 august 2023).
8. KPMG advisory (2023), available at: <https://advisory.kpmg.us/articles/2021/bridging-the-trust-chasm.html> (accessed 3 July 2023).
9. Reshaping Banking with Artificial intelligence (2021), available at: https://www.hkma.gov.hk/media/eng/doc/key-functions/financial-infrastructure/Whitepaper_on_AI.pdf (accessed 20 July 2023).

10. Service industries can fuel growth by making digital customer experiences a priority (2021), available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/BusinessFunctions/McKinseyDigital/OurInsights/service-industries-can-fuel-growth-by-making-digital-customer-experiences-a-priority.ashx> (accessed 10 March 2023).
11. Top 5 Conversational Commerce Examples & Successes in 2023 (2023), available at: <https://research.aimultiple.com/conversational-commerce-examples/> (accessed 10 august 2023).
12. World retail banking report 2021 (2021), available at: <https://www.capgemini.com/news/press-releases/world-retail-banking-report-2021-to-create-new-value-banks-can-adopt-banking-as-a-service-to-embed-finance-in-consumer-lifestyles/> (accessed 8 July 2023).
13. Ештокин, С. В. (2020), Проблемы внедрения и использования чат-ботов, робоэдвайзинга и других продуктов эпохи Индустрии 4.0 в деятельности российских банков, *Проблемы рыночной экономики*, 2020, № 4, С. 151–164.
14. Косторная, Я. А. (2017), Основные проблемы развития маркетинговых коммуникации банков, *Бюллетень науки и практики*, 2017, № 10, С. 168–173.
15. Кривицкая, Я. В. (2023), Чат-боты и виртуальные помощники в банковской сфере: перспективы развития и проблемы, *Труды Международной научно-практической студенческой конференции*, Минск, 2022, С. 83–86.
16. Отчет о тенденциях и случаях мошенничества в сфере платежных инструментов и сервисов за 1 полугодие 2023 года (2023), available at: <https://npc.by/bankovskie-kartochki/protivodeystviemoshennichestvu-v-sfere-tsifrovyykh-tekhnologiy/analitika/otchet-o-tendentsiyakh-i-sluchayakh-moshennichestva-v-sfere-platezhnykh-instrumentov-i-servisov-za-2023/> (accessed 20 July 2023).
17. Официальный интернет-портал ЗАО «Альфа-Банк» (2023), режим доступа: <https://www.alfabank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
18. Официальный интернет-портал ЗАО Банк ВТБ (Беларусь) (2023), режим доступа: <https://www.vtb.by/> (дата доступа 15.07.2023).
19. Официальный интернет-портал ЗАО «МТБанк» (2023), режим доступа: <https://www.mtbank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
20. Официальный интернет-портал ОАО «Банк Дабрабыт» (2023), режим доступа: <https://bankdabrabyt.by/> (дата доступа 15.07.2023).
21. Официальный интернет-портал ОАО «Белагропромбанк» (2023), режим доступа: <https://www.belapb.by/> (дата доступа 15.07.2023).
22. Официальный интернет-портал ОАО «Белвнешэкономбанк» (2023), режим доступа: <https://www.belveb.by/> (дата доступа 15.07.2023).
23. Официальный интернет-портал ОАО «Белорусский банк развития и реконструкции «Белинвестбанк» (2023), режим доступа: <https://www.belinvestbank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
24. Официальный интернет-портал ОАО «Паритетбанк» (2023), режим доступа: <https://www.paritetbank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
25. Официальный интернет-портал ОАО «Приорбанк» (2023), режим доступа: <https://www.priorbank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
26. Официальный интернет-портал ОАО «Сбер Банк» (2023), режим доступа: <https://www.sber-bank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
27. Официальный интернет-портал ОАО «Сберегательный банк «Беларусбанк» (2023), режим доступа: <https://belarusbank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
28. Официальный интернет-портал ОАО «Технобанк» (2023), режим доступа: <https://tb.by/individuals/> (дата доступа 15.07.2023).
29. Официальный интернет-портал Совместного белорусско-российского ОАО «Белгазпромбанк» (2023), режим доступа: <https://belgazprombank.by/> (дата доступа 15.07.2023).
30. Сравнительное исследование чат-ботов в мобильных банках для частных лиц (2023), available at: <https://markswebb.ru/report/chatbot-rank-2022/> (accessed 28 July 2023).

31. Старкова, Н. О., Косторная, Я. А. (2017), Коммуникации на банковском рынке, *Бюллетень науки и практики*, 2017, № 10, С. 170–178.
32. Stavnichuk, A. Y., Markova, O. A. (2023), "Acquire and leave": Effects of startups acquisitions by digital ecosystems, *Управленец*, 2023, Т. 14, № 5, С. 83–105. DOI: 10.29141/2218-5003-2023-14-5-6. EDN: LLABZC.
33. Ярош, О. Б., Калькова, Н. Н., Реутов, В. Е. (2021), Эмоции потребителей в процессе принятия решения об онлайн-покупке: результаты нейромаркетинговых экспериментов, *Управленец*, 2021, Т. 12, № 4, С. 42–58. DOI: 10.29141/2218-5003-2021-12-4-4.

REFERENCES

1. 12 Banking Customer Experience Trends to Watch in 2023 (2023), available at: <https://global.hitachi-solutions.com/blog/banking-customer-experience-trends> (accessed 10 august 2023).
2. Banking Chatbots in 2023: Benefits, Use Cases & Best (2023), available at: <https://research.aimultiple.com/banking-chatbot/> (accessed 10 august 2023).
3. Best of both worlds: Balancing digital and physical channels in retail banking (2022), available at: <https://www.mckinsey.com/industries/financial-services/our-insights/best-of-both-worlds-balancing-digital-and-physical-channels-in-retail-banking> (accessed 10 august 2023).
4. CAPCO Press Release (2023), available at: <https://www.capco.com/en/About-Us/Newsroom-and-media/Banking-Survey-Press-Release> (accessed 28 July 2023).
5. Digital 2023: Belarus (2023), available at: www.datareportal.com/reports/digital-2023-belarus (accessed 10 March 2023).
6. DGBank: digital payment platform (2023), available at: https://www.digipay.guru/blog/omnichannel-banking/Omnichannel_banking_allows_customers_them_to_resolve_problems_quickly (accessed 3 July 2023).
7. Innovative Mobile Banking Support Options Grow but Capabilities Vary Widely (2023), available at: <https://www.keynovagroup.com/press-articles/innovative-mobile-banking-support-options-grow-but-capabilities-vary-widely> (accessed 10 august 2023).
8. KPMG advisory (2023), available at: <https://advisory.kpmg.us/articles/2021/bridging-the-trust-chasm.html> (accessed 3 July 2023).
9. Reshaping Banking with Artificial intelligence (2021), available at: https://www.hkma.gov.hk/media/eng/doc/key-functions/financial-infrastructure/Whitepaper_on_AI.pdf (accessed 20 July 2023).
10. Service industries can fuel growth by making digital customer experiences a priority (2021), available at: <https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/BusinessFunctions/McKinseyDigital/OurInsights/service-industries-can-fuel-growth-by-making-digital-customer-experiences-a-priority.ashx> (accessed 10 March 2023).
11. Top 5 Conversational Commerce Examples & Successes in 2023 (2023), available at: <https://research.aimultiple.com/conversational-commerce-examples/> (accessed 10 august 2023).
12. World retail banking report 2021 (2021), available at: <https://www.capgemini.com/news/press-releases/world-retail-banking-report-2021-to-create-new-value-banks-can-adopt-banking-as-a-service-to-embed-finance-in-consumer-lifestyles/> (accessed 8 July 2023).
13. Eshtokin, S. V. (2020), Problems of implementation and use of chatbots, robo-advising and other products of the Industry 4.0 era in the activities of Russian banks [Problemy vnedreniya i ispolzovaniya chat-botov, roboehdvajzinga i drugikh produktov ehpokhi industrii 4.0 v deyatel'nosti rossijskikh bankov], *Problemy rynochnoj jekonomik – Problems of a market economy*, 2020, № 4, pp. 151–164.
14. Kostornaya, Ya. A. (2017), Main problems of development of marketing communications of banks [Osnovnye problemy razvitiya marketingovykh kommunikacii bankov], *Bjulleten' nauki i praktiki – Bulletin of Science and Practice*, 2017, № 10, pp. 168–173.

15. Krivitskaya, Ya. V. (2023), Chatbots and virtual assistants in the banking sector: development prospects and problems [CHat-boty i virtual'nye pomoshchniki v bankovskoj sfere: perspektivy razvitiya i problemy], *Proceedings of the International Scientific and Practical Student Conference*, Minsk, 2022, pp. 83–86.
16. Report on trends and cases of fraud in the field of payment instruments and services for the 1st half of 2023 (2023) [Otchet o tendenciyah i sluchayah moshennichestva v sfere platezhnyh instrumentov i servisov za 1 polugodie 2023 goda], available at: <https://npc.by/bankovskie-kartochki/protivodeystvie-moshennichestvu-v-sfere-tsifrovyykh-tekhnologiy/analitika/otchet-o-tendentsiyakh-i-sluchayakh-moshennichestva-v-sfere-platezhnykh-instrumentov-i-servisov-za-2023/> (accessed 20 July 2023).
17. Official Internet portal of the Closed Joint Stock Company «Alfa-Bank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal ZAO «Al'fa-Bank»], available at: <https://www.alfabank.by/> (accessed 15 July 2023).
18. Official Internet portal of the Closed Joint Stock Company VTB Bank (Belarus) (2023) [Oficial'nyj internet-portal ZAO Bank VTB (Belarus')], available at: <https://www.vtb.by/> (accessed 15 July 2023).
19. Official Internet portal of the Closed Joint Stock Company «MTBank» (2023), [Oficial'nyj internet-portal ZAO «MTBank»], available at: <https://www.mtbank.by/> (accessed 15 July 2023).
20. Official Internet portal of the Joint-stock company «Bank Dabrabyt» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Bank Dabrabyt»], available at: <https://bankdabrabyt.by/> (accessed 15 July 2023).
21. Official Internet portal of the Joint-stock company «Belagroprombank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Belagroprombank»], available at: <https://www.belapb.by/> (accessed 15 July 2023).
22. Official Internet portal of the Joint-stock company «Belvnesheconombank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Belvneshjekonombank»], available at: <https://www.belvnb.by/> (accessed 15 July 2023).
23. Official Internet portal of the Joint-stock company «Belarusian Bank for Development and Reconstruction «Belinvestbank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Belorusskij bank razvitiya i rekonstrukcii «Belinvestbank»], available at: <https://www.belinvestbank.by/> (accessed 15 July 2023).
24. Official Internet portal of the Joint-stock company «Paritetbank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Paritetbank»], available at: <https://www.paritetbank.by/> (accessed 15 July 2023).
25. Official Internet portal of the Joint-stock company «Priorbank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Priorbank»], available at: <https://www.priorbank.by/> (accessed 15 July 2023).
26. Official Internet portal of the Joint-stock company «Sber Bank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Sber Bank»], available at: <https://www.sber-bank.by/> (accessed 15 July 2023).
27. Official Internet portal of the Joint-stock company «Savings bank «Belarusbank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Sberegatel'nyj bank «Belarusbank»], available at: <https://belarusbank.by/> (accessed 15 July 2023).
28. Official Internet portal of the Joint-stock company «Tehnobank» (2023) [Oficial'nyj internet-portal OAO «Tehnobank»], available at: <https://tb.by/individuals/> (accessed 15 July 2023).
29. Official Internet portal of the Belorussian-Russian Belgazprombank Joint Stock (2023) [Oficial'nyj internet-portal Covmestnogo belorussko-rossijskogo OAO «Belgazprombank»], available at: <https://belgazprombank.by/> (accessed 15 July 2023).
30. Comparative study of chatbots in mobile banks for individuals [Sravnitel'noe issledovanie chat-botov v mobil'nyh bankah dlya chastnyh lic] (2023), available at: <https://markswebb.ru/report/chatbot-rank-2022/> (accessed 28 July 2023).
31. Starkova, N. O., Kostornaya, Y. A. (2017), Communications in the banking market [Kommunikacii na bankovskom rynke], *Bjulleten' nauki i praktiki – Bulletin of Science and Practice*, 2017, № 10, pp. 170–178.
32. Stavniychuk, A. Y., Markova, O. A. (2023), “Acquire and leave”: Effects of startups acquisitions by digital ecosystems, *Upravlenets – The Manager*, 2023, vol. 14, № 5, pp. 83–105. DOI: 10.29141/2218-5003-2023-14-5-6. EDN: LLABZC.
33. Yarosh, O. B., Kalkova, N. N., Reutov, V. E. (2021), Consumer emotions in the decision-making process about online purchase: results of neuromarketing experiments [Jemocii potrebitelej v processe prinjatija reshenija ob onlajn-pokupke: rezul'taty nejromarketingovyh jeksperimentov], *Upravlenets – The Manager*, 2021, vol. 12, № 4, pp. 42–58. DOI: 10.29141/2218-5003-2021-12-4-4.

Информация об авторах

Information about the authors

Богатко Ирина Александровна

Магистрант кафедры «Экономика электронного бизнеса», Витебский государственный технологический университет; заместитель управляющего, дирекция ОАО «Белинвестбанк» по Витебской области, Республика Беларусь.

E-mail: iryna.bogatko@gmail.com

Ванкевич Елена Васильевна

Доктор экономических наук, профессор, проректор по научной работе, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: vankevich_ev@tut.by

Iryna A. Bahatka

Master's Student at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University; Deputy Manager, Directorate of JSC Belinvestbank in Vitebsk region, Republic of Belarus.

E-mail: iryna.bogatko@gmail.com

Alena V. Vankevich

Doctor of Science (in Economics), Professor, Vice-Rector for Science and Research, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: vankevich_ev@tut.by

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ

Н.И. Богдан

Белорусский государственный экономический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Актуальность проблемы технологического суверенитета стран обусловлена тем, что доступ к новым технологиям имеет решающее значение для экономического суверенитета, усиливает конкуренцию за развитие технологических возможностей. Задача обеспечения технологического суверенитета стала актуальной в сфере российских и белорусских приоритетов, буквально за последние несколько лет. Во многом это определяется механизмом санкционного давления на экономику России и Беларуси, что актуализирует необходимость выработки экономической политики, оперативно реагирующей на шоки. После кризиса COVID-19, нарушения цепочек поставок и обострения конкуренции США и Китая вопросы технологического суверенитета стали весьма актуальны и для развитых стран.

Целью исследования является определение концепции технологического суверенитета, ее связи с новыми направлениями научно-технологической и инновационной политики в условиях изменения международных отношений. В статье технологический суверенитет рассматривается, с одной стороны, как законные интересы страны в обеспечении наличия технологий и доступа к ним, с другой стороны, отмечаются опасности, создаваемые автаркией и протекционизмом.

Задача государственных органов заключается в том, чтобы обеспечить надлежащий баланс между этими видами политического вмешательства. Для Беларуси особое значение имеет кооперация в рамках Союзного государства по формированию единого научно-технологического пространства, рост наукоемкости ВВП, новые подходы к формированию макропоказателей Государственных инновационных программ.

Ключевые слова: технологический суверенитет; стратегическая автономия; инновационная политика; санкции.

Информация о статье: поступила 5 октября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

FEATURES OF THE FORMATION OF TECHNOLOGICAL SOVEREIGNTY AT THE CURRENT STAGE OF DEVELOPMENT

Nina I. Bohdan

Belarusian State Economic University, Republic of Belarus

ABSTRACT

The relevance of the problem of technological sovereignty of countries is due to the fact that access to new technologies can be crucial for their economic sovereignty, which has prompted them to compete fiercely for the development of their technological capabilities. The task of ensuring technological sovereignty has become relevant in the sphere of Russian and Belarusian priorities over the past few years. Following the COVID-19 crisis, disruption of supply chains and increased competition between the US and China, issues of technological sovereignty have become very relevant for developed countries. The article examines the modern discourse on technological sovereignty in the context of sanctions imposed by Western countries against Russia and Belarus.

The objective of the study is to determine the concept of technological sovereignty, its connection with the concept of economic sovereignty of the state, and to identify new directions for scientific, technological and innovation policy in the context of changing international relations.

The concept of technological sovereignty is considered in connection with the concept of “strategic autonomy”. It is indicated that political changes in recent years have revealed three main types of political intervention to strengthen technological sovereignty and strategic autonomy: protection, promotion, and projection.

The challenge for government agencies is to strike an appropriate balance between these types of policy interventions in the context of their own interests and capabilities. An innovation policy that views technological sovereignty as a means rather than an end requires governments to carefully assess which technologies are truly critical and what threats to their access exist. For Belarus, cooperation with Russia within the Union State in the formation of a single scientific and technological space, the growth of the R&D intensity GDP, and new approaches to the formation of macro-indicators of State programs for innovative development are of particular importance.

Keywords: technological sovereignty; strategic autonomy; innovation policy; sanctions.

Article info: received October 5, 2023.

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference “International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023”.

Задача обеспечения технологического суверенитета стала актуальной в сфере российских и белорусских приоритетов, буквально за последние несколько лет. Во многом это определяется механизмом санкционного давления на экономику России и Беларуси, что актуализирует необходимость выработки экономической политики, оперативно реагирующей на шоки. Санкционное давление в России оценивается в количестве 17854 санкций, в том числе до 22.02.2020 г. – 2695 и после – 15159 санкций, в Беларуси соответственно – 1447, в том числе 788 и 629 санкций [1]. Это беспрецедентное давление в основном связано с запретом на экспорт ряда товаров и технологий, которые способствуют научно-технологическому развитию стран и ограничениями на логистику товаров. По итогам 2022 г. объем ВВП Беларуси сократился на 4,7 %. Это результат не только санкционных рестрикций, но и всей неблагоприятной мировой экономической конъюнктуры, в том числе деформации торговых отношений. Несмотря на наметившийся восстановительный рост, санкционное давление на научно-технологическое развитие в долгосрочном контексте является существенным. Проблема активно обсуждается в российской научной литературе [2, 3].

Президентом России в мае 2023 г. утверждена Концепция технологического развития страны до 2030 года, цели которой – достижение технологического суверенитета, переход к инновационно ориентированному экономическому росту, технологическое обеспечение устойчивого развития производственных систем. В рамках реализации Концепции подготовлен проект фе-

дерального закона «О технологической политике в РФ». Правительством России утверждены приоритетные направления проектов технологического суверенитета и проектов структурной адаптации экономики Российской Федерации, Положение об условиях отнесения проектов к проектам технологического суверенитета и проектам структурной адаптации экономики Российской Федерации. Проблема обеспечения технологического суверенитета страны характерна и для публичного пространства Беларуси.

После кризиса COVID-19, нарушения цепочек поставок и обострения конкуренции США и Китая вопросы технологического суверенитета стали весьма актуальны и для развитых стран. Последние документы ОЭСР по прогнозу политики в сфере науки, технологий и инноваций (НТИ) [4] среди ключевых тенденций отмечают растущую геополитическую напряженность, риски, неопределенность и необходимость обеспечения устойчивости в современных условиях развития. Технологическое лидерство уже давно лежит в основе экономического процветания и безопасности стран ОЭСР и, как правило, включает в себя некоторую степень защиты технологий от стратегических конкурентов. Растущее господство Китая в передовых технологиях открыло новую эру усиленной стратегической конкуренции, особенно в критически важных технологиях, которые будут лежать в основе будущей экономической конкурентоспособности и национальной безопасности. Правительства принимают меры, направленные на снижение рисков взаимозависимости в области НТИ, и ограничение международных потоков техно-

логий; повышение эффективности промышленности за счет инвестиций в НТИ; и укрепление международных альянсов в области НТИ между странами-единомышленниками.

По мере того, как программы экономической политики и политики безопасности стран ОЭСР демонстрируют признаки растущей конвергенции, такие понятия, как «технологический суверенитет» и «стратегическая автономия», которые относятся к способности государства действовать стратегически и автономно на основе технологий в эпоху усиления глобальной конкуренции, стали основными рамками для политики в области науки, технологий и инноваций (НТИ).

Многие государства осознали, что доступ к новым технологиям может иметь решающее значение для их суверенитета, что побудило их к жесткой конкуренции за развитие своих технологических возможностей. Страны возводят цифровые границы, чтобы защитить свои данные от других, вводят экспортный контроль над критически важными технологиями и талантливыми специалистами, стремятся создать сферы технологического влияния со странами-партнерами – в надежде увеличить свою технологическую мощь и распространить свои технологические достижения.

Задачей данного исследования является определение концепции технологического суверенитета, ее связи с понятием экономического суверенитета государства и определение новых направлений научно-технологической и инновационной политики в условиях изменения международных отношений.

Не существует однозначного определения технологического суверенитета. Ряд исследователей полагает, что это понятие подразумевает независимость страны от мировых рынков в сфере технологий, критически важных для развития ее экономики и стратегических отраслей. Хорошо изучены статические краткосрочные потери, которые экономика несет из-за изоляции. Они могут составлять 5–10 % ВВП в случае полной изоляции. Поскольку страна уходит с внешних рынков, меняются внутренние относительные цены, которые соответствуют внутреннему спросу и предложению без оглядки на мировые рынки. Происходит перераспределение имеющихся трудовых ресурсов: от производства продукции

на экспорт они переключаются на производство продукции, которая прежде поставлялась из-за рубежа и которой страна лишилась [5].

Российский исследователь А. Афанасьев [6] рассматривает проблему технологического суверенитета с необходимостью защиты соответствующих национальных интересов, акцентирует внимание на системно-безопасностном аспекте проблемы технологического суверенитета, который заключается в его представлении как возможность беспрепятственной реализации национальных интересов в техносфере как единства науки, техники и технологий и является элементом конкретного уровня в системе безопасности страны – национальной, экономической, научно-технологической.

Научные дебаты о технологическом суверенитете могут иметь деструктивный характер, в котором доминируют взгляды на ответную политику протекционизма или простую защиту власти [7]. Поэтому необходимо определить концептуальные подходы к формированию технологического суверенитета, учитывающие баланс между обеспечением доступа к открытой экономике и получение выгод от нее. С нашей точки зрения, наиболее полным является определение Д. Эдлера, который отмечает, что технологический суверенитет – «способность государства или наднационального сообщества обладать технологиями, которые считаются критически важными для благосостояния, конкурентоспособности, и иметь возможность разрабатывать или получать их из других экономических регионов без односторонней структурной зависимости» [8]. Определение дает сбалансированный взгляд, с одной стороны, на законные интересы страны в обеспечении наличия технологий и доступа к ним и на опасности, создаваемые автаркией и протекционизмом, с другой стороны, которые наносят ущерб глобальной торговле и, в конечном итоге, благосостоянию. В нем подчеркивается понятие доступа к технологии или соответствующим ее компонентам, которые могут быть обеспечены как за счет внутреннего обеспечения, так и через связи с другими экономическими регионами, которые являются надежными и политически заслуживающими доверия.

Концепция технологического суверенитета связана с понятием «стратегическая автономия».

Концепция стратегической автономии является более широкой и относится к способности государства действовать независимо в стратегически важных областях политики. Она не подразумевает изоляцию или отделение от остального мира, а скорее описывает способность государства самостоятельно развивать и управлять международными отношениями. Она связана с технологическим суверенитетом, поскольку последний создает возможности для конкуренции на технологических рубежах. Это положительно влияет на способность государства влиять на глобальные процессы.

Концепция технологического суверенитета связана также с понятием экономического суверенитета, но экономический суверенитет является более широким понятием, включающим в себя дополнительно беспрепятственный доступ нации к природным ресурсам, инвестиционному капиталу, компетенциям и обеспечение логистики. Соответственно, технологический суверенитет – это только одна составляющая экономического суверенитета. Усилия, предпринятые для достижения технологического суверенитета, нацелены на создание технологической основы, необходимой для поддержания экономического суверенитета страны в долгосрочной перспективе.

Термин «технологический суверенитет» отражает стремление государства или наднационального союза сохранять и осуществлять контроль над глобальными процессами технологического развития, согласованным с более широким понятием «стратегическая автономия» и является по своей сути динамичной концепцией, постоянно развивающейся вместе с изменениями возможностей и спросом на технологии, а также потенциальными изменениями в международной геополитической и научно-технической среде. Политические изменения последних лет выявили три основных типа политического вмешательства для укрепления технологического суверенитета и стратегической автономии: защиту, продвижение и прогнозирование [9].

Защита: ограничение потоков технологий и снижение рисков зависимости, например, с помощью мер политики регулирования, таких как экспортный контроль, меры по диверсификации производственно-сбытовых цепочек и т.д.

Продвижение: укрепление внутреннего научно-инновационного потенциала и рост эффективности, например, посредством целостной инновационной политики, ориентированной на миссию инновационной политики, национальных промышленных стратегий и т.д.

Проецирование и планирование: определение критически важных перспективных технологий, расширение и углубление международных связей в области НТИ, например, через международные технологические альянсы, активное участие в международных органах по установлению стандартов и т.д.

Сложная задача государственных органов заключается в том, чтобы обеспечить надлежащий баланс между этими видами политического вмешательства в контексте собственных интересов и возможностей. Например, большая часть нынешних дебатов о технологическом суверенитете в Соединенных Штатах сосредоточена на балансе между мерами защиты и поощрения, при этом сторонники более активной промышленной политики (поощрения) подчеркивают ее центральную роль в удовлетворении растущей технологической конкуренции со стороны Китая. На практике отдельные политические инициативы, такие как национальная промышленная политика, могут включать элементы всех трех видов политического вмешательства. В связи с этим Европейская комиссия [10] сигнализировала о необходимости согласованного сочетания промышленной, научно-исследовательской и торговой политики, которая может способствовать партнерству и сотрудничеству со странами-единомышленниками в стремлении к стратегической автономии. Эти области политики часто совершенно независимы друг от друга, и их сочетание создает проблемы координации и управления для политиков. Набор мер политики будет варьироваться в зависимости от стран, технологических областей и промышленных секторов. Это требует целенаправленного подхода, основанного на оценках угроз, рисков и возможностей.

Исследования показывают, что рост и интеграция Китая в мировую экономику привели к тому, что производственные фирмы в странах ОЭСР все чаще используют Китай в качестве источника высокотехнологичных ресурсов и

платформы для окончательной сборки. Это вызвало растущую технологическую взаимозависимость между экономикой Китая и странами ОЭСР (например, в полупроводниках), но также вызвало обеспокоенность по поводу уязвимости цепочки поставок в критически важных технологиях. Параллельно Китай накапливает все более изощренные технологические возможности и уже является лидером рынка в некоторых областях, таких как 5G, находится на переднем крае в других, включая искусственный интеллект, беспилотные летательные аппараты и другие технологии с потенциальным военным применением. Эти события вызвали опасения по поводу национальной безопасности среди стран ОЭСР, что привело к растущей «секьюритизации» высокотехнологичных коммерческих потоков.

Защита интересов стран связана с все более широким использованием барьеров для прямого доступа на рынки, ужесточением контроля за прямыми иностранными инвестициями (ПИИ), а также введением косвенных барьеров, таких, как национальные стандарты. Таким образом в жертву приносятся выгоды от специализации, эффект масштаба и распространения информации, что усиливает конкуренцию, которая может подорвать будущее сотрудничество в решении глобальных проблем.

Второй тип вмешательства в политику стратегической автономии касается продвижения, особенно в форме промышленной политики, в которой политика в сфере НТИ играет заметную роль. Сочетание промышленной и инновационной политики по-прежнему в значительной степени сосредоточено на поддержке НИОКР, налоговых льготах и инвестициях на ранних стадиях инноваций, но также наблюдается возрождение целенаправленных вмешательств, которые рационализируются геополитической напряженностью, проблемами, возникающими в цепочках поставок и различными «зелеными» целями. Накануне пандемии COVID-19 Европейская комиссия представила новую промышленную стратегию, направленную на поддержку двойного перехода к зеленым и цифровым технологиям, повышение конкурентоспособности промышленности ЕС на глобальном уровне и укрепление открытой стратегической автономии Европы [11]. В 2022 году Европейская комиссия приня-

ла Новую европейскую повестку дня в области инноваций, чтобы вывести Европу на передний план новой волны «высокотехнологичных» инноваций [12].

Третий тип вмешательства в политику стратегической автономии коренится в проецировании национальных интересов в международных правилах, нормах, стандартах и альянсах. Эти альянсы создаются между странами-единомышленниками, такими как страны ОЭСР, которые могут извлечь выгоду, например, из сотрудничества в области регулирования для совместного установления глобальных технологических стандартов, основанных на общих ценностях.

Стратегическую автономию не следует отождествлять с изоляционизмом, и ни одна страна не обладает всеми технологическими возможностями, необходимыми для успешной конкуренции в мировой экономике и сохранения своей национальной безопасности. Страны могут усилить свои внутренние инновационные возможности с помощью хорошо подобранных стратегических альянсов, в то же время, укрепляя свою собственную национальную безопасность, поддерживая технологический потенциал других.

Концепция технологического суверенитета, в нашем понимании, остается ориентированный на внешний мир и сотрудничество. Она сочетает в себе защиту определенных способностей конкретного государства или союза и одновременно уважение законных интересов других государств или группы государств в рамках существующего международного разделения труда и глобальной ценности цепи поставок. Как указывалось выше, технологический суверенитет уже стал вопросом, вызывающим серьезную озабоченность для лиц, определяющих инновационную политику, но это требует более четкого концептуального обоснования. Технологический суверенитет следует рассматривать как средство достижения инноваций, а не как самоцель. Инновационная политика, рассматривающая технологический суверенитет как средство, а не как цель требует, чтобы государство проводило тщательную оценку того, какие технологии действительно являются критически важными и какие угрозы их предоставлению или доступу к ним фактически существуют.

Оценка технологического суверенитета является непростой задачей и предъявляет более высокие требования к возможным мерам политики. По мнению М. Ермоловича, элементами технологического суверенитета являются, во-первых, все, что связано с производством вооружений, средств обороны, второе – это энергетическая независимость, способность на территории страны производить необходимый объем электрической энергии, третий компонент – обеспечение продовольственной безопасности. Важными элементами также являются оказание качественной медицинской помощи и обладание медицинскими технологиями, а также логистическая независимость, то есть наличие собственных технологий в транспортной отрасли. Оценивая положительные достижения страны в данных направлениях, М. Ермолович отметил необходимость развития информационных технологий, поскольку обладание высоким уровнем информационного развития, является залогом глобальной конкурентоспособности и важность усиления внимания к развитию станкостроения в Беларуси [13]. Данные направления развития технологического суверенитета во многом коррелируют с задачами технологического развития, обозначенными в Концепции технологического развития России до 2030 г. Поэтому особое значение приобретает научно-техническое сотрудничество Беларуси и России и кооперация в рамках Союзного государства по формированию единого научно-технологического пространства.

Вместе с тем, Россия как и Беларусь имеют существенное отставание от развитых стран в расходах на научные исследования и развитии человеческого капитала в данной сфере. Обеспечить технологический суверенитет без должного финансирования науки будет сложно. Интенсивность исследований и разработок (научоемкость ВВП) в Китае выросла с 1,71 % в 2010 г. до 2,45 % ВВП в 2021 г. Это превышает интенсивность НИОКР в Европейском союзе (2,15 %), но несколько ниже уровня Соединенных Штатов Америки (3,46 % ВВП). В 2020 г. в Китае насчитывалось 2,3 миллиона исследователей – самое большое количество исследователей в мире по сравнению с 1,89 миллиона в Европейском союзе и 1,59 миллиона в Соединенных Штатах Америки. За последние 20 лет

число исследователей в Китае увеличилось более чем в три раза, что свидетельствует о наибольшем росте по сравнению с другими странами [4]. В течение нескольких последних лет в России наукоемкость ВВП сохраняется на уровне 1 %, в Беларуси – на уровне менее 0,5 %, что привело к снижению числа исследователей. За период 2010–2021 гг. произошло их сокращение в России с 368,9 до 340,1 тыс. человек или на 28,8 тыс. исследователей, в Беларуси с 19,8 до 16,3 тыс. человек или на 3,5 тыс. исследователей. Эти тенденции создают угрозу усиления разрывов в научной повестке между миром и Союзным государством. Государства призваны усилить инвестиции в способность инновационной системы понимать будущие потребности и технологии, а также достоинства/недостатки собственных технологий. Представляется крайне важным увеличение финансовой поддержки науки, особенно фундаментальных научных исследований, введение показателя наукоемкости как макроиндикатора в Государственную программу инновационного развития Беларуси. Следует расширить сферу налоговых льгот для стимулирования финансирования науки со стороны бизнеса.

ГКНТ Беларуси приступил к разработке комплексного прогноза научно-технического прогресса на 2026–2030 годы и на период до 2045 года (КП НТП) – основополагающего стратегического документа о возможных вариантах научно-технологического развития Беларуси в среднесрочном и долгосрочном периоде, который служит базисом для разработки других стратегических документов государства. Концепция нового прогноза ориентирована на прогнозирование научно-технического развития по видам экономической деятельности или по 15 отраслям экономики. Прогностическая работа в отраслях крайне важна, но учитывая системные и многоуровневые аспекты социотехнических систем, в прогнозе важно комплексно охватывать разные сферы и отрасли, поскольку многие возможности технологического развития зависят от прогресса в других подобластях. Понимание этих взаимозависимостей имеет важное значение и должно дать директивным органам возможность лучше распознавать ограничения и выявлять рычаги, в которых они могли бы действовать

для устранения барьеров переходного периода. В большинстве стран реализуют политические инициативы, направленные на содействие междисциплинарным и трансдисциплинарным исследованиям. Если появляются некоторые очаги передового опыта, их желательно существенно расширить для поддержки государства, особенно в сфере критических технологий. Важна поддержка для стартапов в новых технологиях, которые обеспечат технологический суверенитет в будущем.

Исследование показывает, что технологии лежат в основе многих экономических проблем, побуждая технологических лидеров, таких как Европейский союз и Соединенные Штаты Америки, продвигать технологический суверенитет и стратегическую автономию в качестве стратегических целей политики. Страны проводят политику, направленную на ограничение доступа к технологиям (защита), инвестирование в амбициозную внутреннюю промышленную политику для повышения своей экономической конкурентоспособности (поощрение) и укрепление международных технологических альянсов со странами-единомышленниками (прогнозирование).

В то же время, хотя стратегическая конкуренция создает свои собственные проблемы, она также может предлагать возможности. Например, международная конкуренция может стать серьезным стимулом для роста, обусловленного технологиями, а меры по снижению уязвимости технологической зависимости Беларуси за счет

новых инвестиций могут повысить глобальную устойчивость к будущим потрясениям. Кроме того, повестка дня формирования единого научно-технологического пространства Союзного государства может привести к созданию новых исследовательских и инновационных альянсов, которые могут позволить появиться новым лидерам в области науки и техники.

Стратегическая политика автономии может быть крайне разрушительной для существующих экосистем НТИ, независимо от того, создает ли она новые проблемы или открывает новые возможности. Необходим системный подход к современной инновационной политике, который должен учитывать диапазон возможных сбоев и их плюсы и минусы, а также альтернативные пути корректировки и варианты смягчения санкционных последствий.

В дополнение к традиционным политическим подходам в сфере НТИ, которые должны и впредь составлять основу всей будущей научно-исследовательской и инновационной политики, технологический суверенитет также может стимулировать дальнейшие политические действия в части формирования новых требований к национальной инновационной системе, содействовать трансформации системы для решения проблем, которые имеют отношение к технологическому суверенитету. НИС Беларуси требует больше системности, адаптивности, доказательности, мониторинга и учета глобальных трендов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Russia Sanctions Dashboard* (2023), available at: <https://www.castellum.ai/russia-sanctions-dashboard> (accessed 30 September 2023).
2. Горячева, Т. В., Мызрова, О. А. (2023), Роль и место технологического суверенитета в обеспечении устойчивости экономики России, *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Экономика. Управление. Право*, 2023, т. 23, вып. 2, С. 134–145.
3. Чулок, А. (2023), НИС 2.0 для технологического суверенитета, режим доступа: <https://stimul.online/articles/sreda/nis-2-0-dlya-tekhnologicheskogo-suvereniteta/> (дата обращения: 30 сентября 2023).
4. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption* (2023), available at: <https://doi.org/10.1787/0b55736e-en> (accessed 30 September 2023).
5. Волчкова, Н. (2023), Какова цена технологического суверенитета, режим доступа: <https://guru.nes.ru/kakova-czena-tekhnologicheskogo-suvereniteta.html> (дата обращения: 30 сентября 2023).
6. Афанасьев, А. А. (2023), Технологический суверенитет: варианты подходов к рассмотрению проблемы, *Вопросы инновационной экономики*, 2023, Том 13, № 2, С. 689–706.

7. Кокошин, А. А. (2015), Национальные интересы, реальный суверенитет и национальная безопасность, *Вопросы философии*, 2015, № 10, С. 5–19.
8. Edler, J., Blind, K., Kroll, H., Schubert, T. (2021), *Technology Sovereignty as an Emerging Frame for Innovation Policy – Defining Rationales, Ends and Means*, Karlsruhe, 140 p.
9. Helwig, N., Sinkkonen, E., Sinkkonen, V. (2021), *Strategic Autonomy and the Transformation of the EU: New Agendas for Security, Diplomacy, Trade and Technology*, FIIA Report/67, Helsinki, 2021, 136 p.
10. European Commission. *Strategic dependencies and capacities, SWD (2021) 352 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD:2021:352:FIN> (accessed 30 September 2023).
11. European Commission. *A New Industrial Strategy for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2020) 102 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=EN> (accessed 30 September 2023).
12. European Commission. *A New Innovation Agenda, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2022) 332 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0332&from=EN> (accessed 30 September 2023).
13. БЕЛТА – Новости Беларуси. Ермолович рассказал, что значит для Беларуси технологический суверенитет и какие сферы в приоритете (2023), режим доступа: <https://www.belta.by/economics/view/ermolovich-rasskazal-cto-znachit-dlja-belarusi-tehnologicheskij-suverenitet-i-kakie-sfery-v-prioritete-574344-2023/> (дата обращения: 30 сентября 2023).

REFERENCES

1. *Russia Sanctions Dashboard* (2023), available at: <https://www.castellum.ai/russia-sanctions-dashboard> (accessed 30 September 2023).
2. Goryacheva, T. V., Myzrova, O. A. (2023), The role and place of technological sovereignty in ensuring the sustainability of the Russian economy [Rol' i mesto tekhnologicheskogo suvereniteta v obespechenii ustojchivosti ekonomiki Rossii], *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Ekonomika. Upravlenie. Pravo – News of Saratov University. New episode. Series: Economics. Management. Jurisprudence*, 2023, T. 23, iss. 2, pp. 134–145.
3. Chulok, A. (2023), NIS 2.0 dlya tekhnologicheskogo suvereniteta [Chulok, A., NIS 2.0 for technological sovereignty], available at: <https://stimul.online/articles/sreda/nis-2-0-dlya-tehnologicheskogo-suvereniteta> (accessed 30 September 2023).
4. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2023: Enabling Transitions in Times of Disruption* (2023), available at: <https://doi.org/10.1787/Ob55736e-en> (accessed 30 September 2023).
5. Volchkova, N. (2023), Kakova cena tekhnologicheskogo suvereniteta [Volchkova, N., What is the cost of technological sovereignty], available at: <https://guru.nes.ru/kakova-czena-tekhnologicheskogo-suvereniteta.html> (accessed 30 September 2023).
6. Afanasyev, A. A. (2023), Technological sovereignty: options for approaches to addressing the problem [Tekhnologicheskij suverenitet: varianty podhodov k rassmotreniyu problemy], *Voprosy innovacionnoj ekonomiki – Issues of innovative economics*, 2023, vol. 13, № 2, pp. 689–706.
7. Kokoshin, A. A. (2015), National interests, real sovereignty and national security [Nacional'nye interesy, real'nyj suverenitet i nacional'naya bezopasnost'], *Voprosy filosofii – Philosophy Issues*, 2015, № 10, pp. 5–19.
8. Edler, J., Blind, K., Kroll, H., Schubert, T. (2021), *Technology Sovereignty as an Emerging Frame for Innovation Policy – Defining Rationales, Ends and Means*, Karlsruhe, 140 p.
9. Helwig, N., Sinkkonen, E., Sinkkonen, V. (2021), *Strategic Autonomy and the Transformation of the EU: New Agendas for Security, Diplomacy, Trade and Technology*, FIIA Report/67, Helsinki, 2021, 136 p.

10. *European Commission. Strategic dependencies and capacities, SWD(2021) 352 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=SWD:2021:352:FIN> (accessed 30 September 2023).
11. *European Commission. A New Industrial Strategy for Europe. Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2020) 102 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0102&from=EN> (accessed 30 September 2023).
12. *European Commission. A New Innovation Agenda, Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, COM (2022) 332 final*, available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52022DC0332&from=EN> (accessed 30 September 2023).
13. BELTA – Novosti Belarusi. Ermolovich rasskazal, chto znachit dlya Belarusi tekhnologicheskij suverenitet i kakie sfery v prioritete [BELTA – News of Belarus. Ermolovich told what technological sovereignty means for Belarus and what areas are a priority], (2023), available at: <https://www.belta.by/economics/view/ermolovich-rasskazal-chto-znachit-dlja-belarusi-tehnologicheskij-suverenitet-i-kakie-sfery-v-prioritete-574344-2023> (accessed 30 September 2023).

Информация об авторах

Information about the authors

Богдан Нина Ивановна

Доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет, Республика Беларусь.
E-mail: bohdannina@gmail.com

Nina I. Bohdan

Doctor of Science (in Economics), Professor, Belarusian State Economic University, Republic of Belarus.
E-mail: bohdannina@gmail.com

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ ОРГАНИЗАЦИЙ НА ОСНОВЕ СКОРИНГОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Т.В. Касаева, Ж.А. Коваленко, П.О. Немкина, О.Г. Чеботарева

Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Данное исследование проводилось с целью развития методических аспектов применения скоринговых моделей в финансовом анализе. В качестве основного направления исследования выбрана оценка качества полученных доходов и понесенных расходов коммерческой организации. Специфика объекта исследования, в качестве которого выступает представитель интеграционных форм объединений организаций, обусловила постановку и решение новых задач: ранжирование экономических единиц по качеству полученных доходов, определение специфических и общих тенденций в динамике их доходов и расходов, выявление структурных диспропорций. На основании проведенного экспертного опроса определена весомость показателей скоринговой модели, которая указывает на приоритетность структурных показателей доходов и расходов организации с позиции оценки их качества. Предложена шкала для перехода от скоринговой модели оценки качества доходов и расходов организации к расчету показателя интегральной оценки.

Ключевые слова: доходы; расходы; виды деятельности; качество полученных доходов; скоринговая модель; коэффициент весомости; интегральная оценка качества доходов и расходов.

Информация о статье: поступила 13 октября 2023 года.

Статья подготовлена по материалам доклада Международной научно-технической конференции «Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023)».

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE QUALITY OF INCOME AND EXPENSES OF ORGANIZATIONS BASED ON SCORING MODELS

Tamara V. Kasaeva, Zhanna A. Kovalenko, Polina O. Nemkina, Oksana G. Chebotareva

Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus

ABSTRACT

The income and expenses of a commercial organization are one of the most important objects of economic analysis and are in the constant field of view of theoretical economists and practitioners. Recently, many economists have been paying attention to the need not only for a structural and dynamic analysis of the income and expenses of a commercial organization, but also for assessment of their quality. Appropriate criteria and indicators were developed. The application of the developed methods in the conditions of real economic entities does not always allow us to draw an unambiguous conclusion about the quality of their income and expenses incurred due to the divergence of the obtained values of indicators. The problem of assessing the quality of income in integration forms of associations is particularly relevant, which would allow for the ranking of individual organizations that are part of them, not only by size, but also by the quality of income received. This study attempts to develop a tool to solve this problem. The purpose of the study is to develop a methodology for the integral assessment of the quality of income and expenses of a commercial organization and its validation in the conditions of one of the integration forms of associations. The object of the study is the State Association "Vitebsk concern "Meat and Dairy Products". The scientific novelty of the research is an attempt to develop a methodology for the integral assessment of the quality of income and expenses based on the synthesis of a scoring model, taking into account the weighting coefficients of individual criteria and their point evaluation. The validation of the developed model in the conditions of the selected object of research has shown that it can be used not only to differentiate the

structural units of the association, but also to identify the most problematic areas in the management of income and expenses of a particular commercial organization.

Keywords: *income; expenses; types of activities; quality of income received; scoring model; weighting coefficient; integral assessment of the quality of income and expenses.*

Article info: *received October 13, 2023.*

The article was prepared based on the report of the International Scientific and Technical Conference "International Conference on Textile and Apparel Innovation ICTAI–2023".

ВВЕДЕНИЕ

Экономика современной организации немыслима без постоянного и глубокого анализа ее доходов и расходов в целом и по каждому виду деятельности: текущей, инвестиционной, финансовой – в частности. Вместе с тем, изучение литературных источников по экономическому анализу позволяет сделать вывод, что доходы и расходы являются самостоятельными объектами в бухгалтерском учете и не всегда являются таковыми в анализе хозяйственной деятельности организации. Многие ученые экономисты [1–5] рассматривают анализ доходов и расходов в качестве составной части анализа финансовых результатов и только некоторые [6–8] выделили доходы и расходы в качестве самостоятельного объекта анализа. При этом разные авторы отмечают схожие задачи анализа доходов и расходов. Так например, по мнению Любушина Н.П. [7, с. 364] к таким задачам относятся:

- оценка выполнения плана, динамики и структуры доходов и расходов организации;
 - поиск резервов увеличения доходов и уменьшения расходов;
 - обоснование и разработка мероприятий по использованию выявленных резервов;
- по мнению Шеремета А.Д. [8, с. 10]:
- изучение уровня и структуры доходов и расходов в отчетном периоде;
 - сравнение уровней и структур доходов и расходов в отчетном и базисном периодах;
 - оценка структурной динамики доходов и расходов, выяснение ее причин.

Развитие методологии анализа доходов и расходов коммерческой организации привело к появлению постоянно развивающегося направления анализа, связанного с оценкой их качества. Данное направление широко обсуждается в экономической общественности. В экономических исследованиях авторами используются различные критерии качества доходов: коэффициент

опережения темпа роста выручки от реализации над темпом роста доходов, коэффициент достаточности выручки для покрытия себестоимости, коэффициент достаточности выручки для покрытия расходов по основной текущей деятельности [9] и другие соотношения. Многие авторы выделяют в качестве ключевого фактора оценки качества доходов их равномерность и ритмичность поступления, для чего используются общепринятые статистические критерии: коэффициент вариации, среднее квадратическое отклонение и т.п. С целью выявления сезонной составляющей в поступлении доходов строятся различные модели временных рядов [10].

В опубликованном ранее исследовании авторами рассматривалось одно из новых направлений анализа доходов и расходов организации – оценка их качества на основе скоринговых моделей [11]. Развитие этого направления требует разработки такой методики оценки качества доходов и расходов организаций, которая позволяла бы получить комплексную интегральную оценку и предоставляла бы возможность ранжирования экономических субъектов по данному критерию. Особую актуальность эта задача приобретает для интеграционных форм объединений, которые призваны сыграть важную роль в развитии национальной экономики. В связи с этим целью данного исследования, направление которого было обозначено в [11], является разработка методики интегральной оценки качества доходов и расходов коммерческой организации и ее апробация в условиях одной из интеграционных форм объединений.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ

В оценке качества доходов и расходов коммерческой организации для менеджмента важны две задачи: с одной стороны, итоговая комплексная оценка; с другой стороны, выявление

ние «узких» мест в структуре и динамике доходов и расходов. На первом этапе исследования предпринята попытка разработки скоринговой модели для оценки качества доходов и расходов организации, обоснованы показатели и определены их границы для включения в ту или иную группу качества полученных доходов (таблица 1).

Вместе с тем, приведенную модель нельзя считать завершенной, так как все показатели в ней равнозначны по весомости. В практической деятельности такая ситуация может наблюдаться крайне редко, так как реальные условия хозяйствования требуют от менеджмента определения приоритетов при выборе определенного

управленческого решения. В одних случаях безусловное преимущество будет принадлежать динамическим показателям, то есть темпам роста доходов, в других – их структуре, в третьих – соотношениям доходов и расходов либо соотношениям доходов, полученных от разных видов деятельности. Получить обобщенное представление о ранжировании приведенных показателей по степени значимости их влияния на качество доходов и расходов стало возможным только благодаря экспертному опросу руководителей и специалистов экономических служб нескольких промышленных организаций. Исследования проводились в организациях различных организационно-правовых форм (государ-

Таблица 1 – Скоринговая модель оценки качества доходов и расходов организации

Показатели	Группы согласно категориям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	90 и выше	от 90 до 70	от 70 до 50	менее 50
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %	140 и выше	от 140 до 120	от 120 до 100	менее 100
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %	10 и менее	от 10 до 30	от 30 до 50	более 50
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	менее 60	от 60 до 80	от 80 до 100	более 100
Удельный вес прочих доходов, %	10 и менее	от 10 до 30	от 30 до 50	более 50
Темп роста прочих доходов, %	менее 60	от 60 до 80	от 80 до 100	более 100
Удельный вес прочих расходов, %	10 и менее	от 10 до 30	от 30 до 50	более 50
Темп роста прочих расходов, %	менее 60	от 60 до 80	от 80 до 100	более 100
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент	1 и выше	от 1 до 0,9	от 0,9 до 0,5	менее 0,5

Источник: [11, с. 165].

ственное объединение, открытые акционерные общества, унитарное предприятие), различных форм собственности (государственная, частная).

Определение коэффициентов весомости показателей производилось в два этапа. На первом этапе все показатели были распределены на три группы: структурные (удельные веса), динамические (темпы роста) и аналитические (коэффициенты опережения). Полученная на этом этапе экспертная оценка каждой группы определена следующая: наиболее значимыми показателями качества доходов и расходов признаны структурные показатели, которые получили наивысшую оценку – 3; показателям динамики была присвоена оценка 2, а коэффициентным – 1 (таблица 2). Далее ранжировались непосредственно показатели скоринговой модели анализа доходов и расходов и определялись их коэффициенты весомости.

В результате экспертной оценки весомость структурных показателей в сумме определена в размере 70 % от интегральной оценки

($0,20 + 0,18 + 0,15 + 0,17 = 0,7$), в то время как доля динамических показателей составила 20 % ($0,06 + 0,07 + 0,02 + 0,05 = 0,2$) от итоговой оценки, а суммарная значимость коэффициентов опережения определена в итоге 10 % ($0,05 + 0,03 + 0,02$). Приоритет структурных показателей, на наш взгляд, вполне оправдан, так как речь идет об оценке качества полученных доходов и понесенных расходов. «Качественные» доходы, как и «качественная» прибыль, должны зарабатывать организацией от основного вида деятельности. Не могут оцениваться как доходы высокого качества, например, полученные штрафы или доходы от продажи имущества, приводящие к уменьшению уровня деловой активности.

На следующем этапе исследования для определения интегральной оценки качества доходов и расходов организации предлагается следующая оценочная шкала (таблица 3).

В зависимости от попадания показателя в ту или иную группу скоринговой модели ему присваивается оценка, которая умножается на соот-

Таблица 2 – Эмпирические значения коэффициентов весомости показателей скоринговой модели

Показатели	Оценка значимости группы показателей	Коэффициент весомости показателя
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	3	0,20
Темп роста доходов по текущей деятельности, %	2	0,06
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %	3	0,18
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	2	0,07
Удельный вес прочих доходов, %	3	0,15
Темп роста прочих доходов, %	2	0,02
Удельный вес прочих расходов, %	3	0,17
Темп роста прочих расходов, %	2	0,05
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент	1	0,05
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент	1	0,03
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент	1	0,02
Всего		1,00

Источник: составлено авторами.

Таблица 3 – Шкала оценки фактически достигнутых организацией значений показателей скоринговой модели

Группа достигнутых значений показателей согласно скоринговой модели	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Оценка	4	3	2	1

Источник: составлено авторами.

Таблица 4 – Перерабатывающие предприятия ГО «Витебский концерн «Мясо-молочные продукты»

Отрасль	Организации
Молочная	ОАО «Молоко» г.Витебск
	ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод»
	ОАО «Поставский молочный завод»
	ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат»
	Унитарное предприятие «Верхний луг»
	Филиал «Лепельский молочноконсервный комбинат»
	ОАО «Полоцкий молочный комбинат»
	Унитарное предприятие «Толочинские сыры»
	Унитарное предприятие «ОршаСырЗавод»
Мясная	ОАО «Витебский мясокомбинат»
	ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат»
	Унитарное предприятие «Глубокский мясокомбинат»
	Унитарное предприятие «Миорский мясокомбинат»
Зерноперерабатывающая	Унитарное предприятие «Витебский комбинат хлебопродуктов»
	ОАО «Полоцкий комбинат хлебопродуктов»
	ОАО «Оршанский комбинат хлебопродуктов»
	ОАО «Глубокский комбикормовый завод»
	Филиал «Миорский комбикормовый завод»

Источник: [12].

ветствующий коэффициент весомости. Суммированием полученных произведений получается итоговая оценка качества доходов и расходов экономического субъекта.

Следовательно, максимальное значение интегральной оценки, которое может быть достигнуто при условии, что все показатели находятся в границах первой группы, будет равно 4, в то время как минимальное (если все показатели оказались в четвертой группе) – 1.

АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ ДОХОДОВ И РАСХОДОВ НА ПРИМЕРЕ ОРГАНИЗАЦИЙ ГО «ВИТЕБСКИЙ КОНЦЕРН «МЯСО-МОЛОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ»

В качестве объекта для апробации разработанной модели оценки выбрано Государственное объединение «Витебский концерн «Мясо-молочные продукты», созданное как структура отраслевого управления в регионе и представляющее собой одну из крупнейших в Республике

Беларусь компаний по производству мясо-молочной, мукомольно-крупяной, плодовоовощной продукции, комбикормов, премиксов, рыбных консервов. В структуру объединения входят 18 перерабатывающих предприятий (таблица 4), 10 обслуживающих (сервисных), 3 торговых, 111 сельскохозяйственных организаций [12].

Несомненно, что для аппарата управления объединения, одной из актуальнейших задач является дифференциация подчиненных экономических субъектов не только по общей сумме полученных финансовых результатов, но и по качеству полученных доходов и понесенных расходов.

Разработанная скоринговая модель оценки качества доходов и расходов коммерческих организаций была применена к четырем промышленным организациям ГО «Витебский концерн «Мясо-молочные продукты»: ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат», ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат», ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод», ОАО «Поставский молочный завод». Конфиденциальность информации о деятельности структурных подразделе-

ний объединения позволила провести апробацию модели только на примере тех организаций, которые сделали доступной и открытой для внешних пользователей свою финансовую отчетность. Вместе с тем, в составе выбранных объектов оценки представлены субъекты хозяйствования различных видов экономической деятельности.

Рассмотрим результаты оценки качества доходов и расходов на каждом выбранном объекте исследования, начиная с полученной скоринговой модели.

Например, характеристика доходов и расходов Оршанского мясоконсервного комбината может быть представлена в виде следующей модели (таблица 5).

На основании переводной шкалы достигнутых значений показателей в баллы (таблица 3) и значений коэффициентов весомости отдельных показателей (таблица 2) представляется возможным определить итоговую суммарную оценку качества доходов и расходов объекта исследования (таблица 6).

Таблица 5 – Скоринговая модель оценки качества доходов и расходов ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат»

Показатели	Группы согласно категориям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %				
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %				
Темп роста расходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес прочих доходов, %				
Темп роста прочих доходов, %				
Удельный вес прочих расходов, %				
Темп роста прочих расходов, %				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент				
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент				

Источник: составлено авторами.

Таблица 6 – Расчет интегрального коэффициента скоринговой модели оценки качества доходов и расходов ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат»

Показатели	Оценка	Коэффициент весомости	Оценка с учетом коэффициента весомости
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	1	0,20	0,20
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %	4	0,06	0,24
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %	1	0,18	0,18
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	1	0,07	0,07
Удельный вес прочих доходов, %	3	0,15	0,45
Темп роста прочих доходов, %	1	0,02	0,02
Удельный вес прочих расходов, %	3	0,17	0,51
Темп роста прочих расходов, %	1	0,05	0,05
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент	1	0,05	0,05
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент	1	0,03	0,03
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент	4	0,02	0,08
Интегральный коэффициент			1,88

Источник: составлено авторами.

Таким образом, по результатам апробации скоринговой модели оценка качества доходов и расходов ОАО «Оршанский мясоконсервный комбинат» была получена чуть ниже среднего уровня и одновременно были сделаны следующие выводы:

- организация имеет низкую долю доходов по текущей деятельности и одновременно высокий удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, что не позволяет судить о высоком качестве полученных доходов и понесенных расходов;
- высокие темпы роста доходов по текущей деятельности в перспективе могут изменить ситуацию с пропорциями доходов и расходов в текущей деятельности, однако нарушены динамические соотношения между темпами роста доходов по текущей, инвестиционной и финан-

совой деятельности.

Скоринговая модель доходов и расходов ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат» (таблица 7) указывает на более привлекательную картину в их характеристиках по сравнению с Оршанским мясоконсервным комбинатом, ряд показателей из четвертой группы перемещаются в третью либо вторую группу.

Расчет интегрального коэффициента для данной организации представлен в таблице 8.

По результатам апробации скоринговой модели оценки качества доходов и расходов в условиях ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат» были выявлены следующие характеристики:

- низкая доля доходов по основной деятельности при высокой доле расходов по прочей текущей деятельности (как и у предыдущего

Таблица 7 – Скоринговая модель оценки качества доходов и расходов ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат»

Показатели	Группы согласно категориям			
	1 группа	2 группа	3 группа	4 группа
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %				
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес расходов по текущей деятельности, %				
Темп роста расходов по текущей деятельности, %				
Удельный вес прочих доходов, %				
Темп роста прочих доходов, %				
Удельный вес прочих расходов, %				
Темп роста прочих расходов, %				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент				
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент				
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент				

Источник: составлено авторами.

Таблица 8 – Расчет интегрального коэффициента скоринговой модели оценки качества доходов и расходов ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат»

Показатели	Оценка	Коэффициент весомости	Оценка с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	1	0,20	0,20
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %	2	0,06	0,12
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %	1	0,18	0,18
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	2	0,07	0,14
Удельный вес прочих доходов, %	4	0,15	0,60
Темп роста прочих доходов, %	1	0,02	0,02
Удельный вес прочих расходов, %	4	0,17	0,68
Темп роста прочих расходов, %	1	0,05	0,05
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент	3	0,05	0,15
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент	3	0,03	0,09

Окончание таблицы 8 – Расчет интегрального коэффициента скоринговой модели оценки качества доходов и расходов ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат»

Показатели	Оценка	Коэффициент весомости	Оценка с учетом коэффициента весомости
1	2	3	4
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент	4	0,02	0,08
Интегральный коэффициент			2,31

Источник: составлено авторами.

Таблица 9 – Расчет интегральной оценки качества доходов и расходов ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод» и ОАО «Оршанский КХП»

Показатели	Коэффициент весомости	ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод»		ОАО «Оршанский КХП»	
Удельный вес доходов по текущей деятельности, %	0,20	2	0,40	1	0,20
Темп изменения доходов по текущей деятельности, %	0,06	3	0,18	2	0,12
Удельный вес расходов по прочей текущей деятельности, %	0,18	2	0,36	1	0,18
Темп роста расходов по текущей деятельности, %	0,07	1	0,07	1	0,07
Удельный вес прочих доходов, %	0,15	2	0,30	3	0,45
Темп роста прочих доходов, %	0,02	1	0,02	2	0,04
Удельный вес прочих расходов, %	0,17	2	0,34	3	0,51
Темп роста прочих расходов, %	0,05	1	0,05	2	0,10
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над расходами по текущей деятельности, коэффициент	0,05	4	0,20	2	0,10
Коэффициент опережения доходов по текущей деятельности над доходами по инвестиционной деятельности, коэффициент	0,03	1	0,03	2	0,06
Коэффициент опережения доходов по инвестиционной деятельности над доходами по финансовой деятельности, коэффициент	0,02	1	0,02	2	0,04
Интегральный коэффициент			1,97		1,87

Источник: составлено авторами.

объекта исследования);

- более благоприятная картина между темпами роста доходов по текущей, инвестиционной и финансовой деятельности;

- в итоге интегральная оценка качества доходов получилась выше среднего уровня.

Аналогичная работа была проведена и по двум остальным объектам исследования, итоговые результаты которой представлены в таблице 9.

Из данных таблицы следует, что обе организации демонстрируют невысокое качество доходов и расходов. При этом высокая весомость структурных показателей позволяет ОАО «Верхнедвинский маслосырзавод» достичь более выгодных позиций, несмотря на лучшие темповые показатели ОАО «Оршанский КХП»

Таким образом, из четырех организаций Государственного объединения «Витебский концерн «Мясо-молочные продукты», которые послужили объектами данного исследования, более высокое качество доходов в анализируемом периоде продемонстрировало ОАО «Глубокский молочноконсервный комбинат».

ВЫВОДЫ

Данное исследование проводилось с целью развития методических аспектов применения скоринговых моделей в финансовом анализе, в частности, для оценки качества полученных доходов и понесенных расходов коммерческой организации. Специфика объекта исследования позволила выделить две основные задачи такой оценки в условиях интеграционных форм объединений: с одной стороны, необходимость дифференциации участников объединения по качеству полученных доходов и понесенных расходов, с другой стороны, выявление структурных и темповых диспропорций в получаемых организациями доходах, требующих пристального внимания менеджмента во избежание потери финансовой устойчивости экономических субъектов.

Дополнение разработанной скоринговой модели весовыми значениями показателей и оценочной шкалой позволило предложить метод количественной оценки качества доходов и расходов организации, который может успешно применяться на практике, что подтверждают

результаты апробации разработанной модели в условиях государственного объединения субъектов хозяйствования пищевой промышленности Витебского региона.

Несмотря на тот факт, что в качестве объектов исследования были выбраны организации, относящиеся к разным видам экономической деятельности, прослеживаются общие проблемные аспекты в деятельности экономических субъектов относительно качества доходов и расходов. Прежде всего, необходимо отметить невысокую долю доходов, получаемых организациями от основной деятельности. И если учесть, что при невысокой доле доходов по текущей деятельности организации несут значительные расходы по прочей текущей деятельности (не относящейся к основной), становится понятна основная причина невысокого уровня интегральной или суммарной оценки качества доходов и расходов. Ведь именно этим показателям присвоены по мнению экспертов самые высокие значения коэффициентов весомости. Значительное влияние прочих доходов и расходов по текущей деятельности часто связано с покупкой-продажей валюты, если организация имеет эти операции. Но в каждом конкретном случае, то есть для каждой организации это могут быть совершенно иные причины, которые не видны внешним пользователям финансовой отчетности, но должны стать объектами пристального внимания финансовых менеджеров компаний.

Таким образом, применение скоринговых моделей в анализе качества доходов и расходов может стать действенным инструментом в управлении финансовой деятельностью коммерческой организации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Савицкая, Г. В. (2018), *Комплексный анализ хозяйственной деятельности предприятия*, Москва, 352 с.
2. Ермолович, Л. Л. (2016), *Анализ хозяйственной деятельности в промышленности*, Минск, 800 с.
3. Лысенко, Д. В. (2009), *Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности*, Москва, 320 с.
4. Елисеева, Т. П. (2013), *Экономический анализ хозяйственной деятельности*, Минск, 944 с.
5. Пласкова, Н. С. (2016), *Финансовый анализ деятельности организации*, Москва, 368с.
6. Либерман, И. А. (2020), *Комплексный экономический анализ*, Москва, 205 с.
7. Любушин, Н. П. (2016), *Экономический анализ*, Москва, 441 с.
8. Шеремет, А. Д. (2016), *Методика финансового анализа деятельности коммерческих организаций*, Москва, 237 с.
9. Гугнина, Е. В., Задёра, О. А., Бородина, Т. В. (2022), Анализ доходов экономического субъекта и возможности их роста, *Вестник Алтайской академии экономики и права*, 2022, № 7-2, С. 208–215.
10. Полухина, И. В., Золототрубов, А. А. (2021), Аналитическое обеспечение управления доходами и расходами в логистической компании, *Современная экономика: Проблемы и решения*, 2021, №4 (136), С. 139–153.
11. Немкина, П. О., Касаева, Т. В. (2022), Скоринговые модели в анализе доходов и расходов организации, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2022, № 2 (43), С. 158–168.
12. Официальный сайт Государственного объединения «Витебский концерн «Мясо-молочные продукты», режим доступа: <http://vitmmp.by/> (дата обращения 01.09.2023).

REFERENCES

1. Savitskaya, G. V. (2018), *Kompleksnyy analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti predpriyatiya* [Complex analysis of the economic activity of the enterprise], Moscow, 352 p.
2. Ermolovich, L. L. (2016), *Analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti v promyshlennosti* [Analysis of economic activity in industry], Minsk, 800 p.
3. Lysenko, D. V. (2009), *Kompleksnyy ekonomicheskyy analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti* [Complex economic analysis of economic activity], Moscow, 320 p.
4. Eliseeva, T. P. (2013), *Ekonomicheskyy analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti* [Economic analysis of economic activity], Minsk, 944 p.
5. Plaskova, N. S. (2016), *Finansovyy analiz deyatel'nosti organizatsii* [Financial analysis of the organization's activities], Moscow, 368 p.
6. Liberman, I. A. (2020), *Kompleksnyy ekonomicheskyy analiz* [Complex Economic Analysis], Moscow, 205 p.
7. Lyubushin, N. P. (2016), *Ekonomicheskyy analiz* [Economic Analysis], Moscow, 441 p.
8. Sheremet, A. D. (2016), *Metodika finansovogo analiza deyatel'nosti kommercheskikh organizatsiy* [Methods of financial analysis of the activities of commercial organizations], Moscow, 237 p.
9. Gugnina, E. V., Zadera, O. A., Borodina, T. V. (2022), Analysis of the income of an economic entity and the possibility of their growth [Analiz dokhodov ekonomicheskogo sub'yekta i vozmozhnosti ikh rosta], *Vestnik Altajskoy akademii ekonomiki i prava – Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law*, 2022, № 7-2, pp. 208–215.
10. Polukhina, I. V., Zolototrubov, A. A. (2021), Analytical support for income and expense management in a logistics company [Analiticheskoye obespecheniye upravleniya dokhodami i raskhodami v logisticheskoy kompanii], *Sovremennaya ekonomika: Problemy i resheniya – Modern Economics: Problems and Solutions*, 2021, № 4 (136), pp. 139–153.
11. Nemkina, P. O., Kasaeva, T. V. (2022), Scoring models in the analysis of income and expenses of the organization [Skoringovyye modeli v analize dokhodov i raskhodov organizatsii], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of the Vitebsk State Technological University*,

2022, № 2 (43), pp. 158–168.

12. *Ofitsial'nyy sayt Gosudarstvennogo ob'yedineniya «Vitebskiy kontsern «Myaso-molochnyye produkty»* [Official website of the State Association "Vitebsk Concern "Meat and Dairy Products"], available at: <http://vitmmp.by/> (accessed: 01.09.2023).

Информация об авторах

Касаева Тамара Васильевна

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: KasaevaTV@mail.ru

Коваленко Жанна Анатольевна

Магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: jannakovalenko9@gmail.com

Немкина Полина Олеговна

Магистр экономических наук, Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: nemkinap@mail.ru

Чеботарёва Оксана Геннадьевна

Магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика и электронный бизнес», Витебский государственный технологический университет, Республика Беларусь.

E-mail: chebotariova@mail.ru

Information about the authors

Tamara V. Kasayeva

Candidate of Sciences (in Engineering), Chair of the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: KasaevaTV@mail.ru

Zhanna A. Kovalenko

Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: jannakovalenko9@gmail.com

Polina O. Nemkina

Master of Economic Sciences, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: nemkinap@mail.ru

Oksana G. Chebotareva

Master of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department "Economics and Electronic Business", Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus.

E-mail: chebotariova@mail.ru

ПРИОРИТЕТЫ БЮДЖЕТНЫХ РАСХОДОВ САМОУПРАВЛЕНИЙ ЛАТВИИ В КОНТЕКСТЕ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИКИ ТЕРРИТОРИЙ

В. Комарова, С. Игнатьева, Я. Кудиньш, Э. Чижо

Даугавпилсский университет, Латвийская Республика

АННОТАЦИЯ

Цель данного исследования – определение сравнительных приоритетов бюджетных расходов самоуправлений Латвии (на транспортную инфраструктуру или производство) в контексте улучшения местной экономики.

Научное и практическое значение данного исследования состоит в эмпирическом доказательстве актуальных тенденций, свидетельствующих о «транспортно-производственной» экономической реструктуризации территории Латвии: усиление экономической (и демографической – по показателю оттока населения) изоляции юго-восточной части Латвии – Латгальского региона – от остальной её территории; появление компактного блока самоуправлений-«производственников» (с предпочтением поддержки производства развитию транспортной инфраструктуры) со стабильной численностью населения; увеличение кластера, находящегося в центре Латвии (в столичной агломерации и вокруг неё) и состоящего из наиболее экономически активных самоуправлений-«транспортников» с растущим населением.

Методика эмпирического анализа. Авторы применили различные методы статистического анализа: частотный анализ, тесты на нормальность и сравнение пропорций попарных выборок (для изучения распределения различных состояний экономики самоуправлений Латвии), сравнение пропорций независимых выборок (для определения статистической значимости различий в сравнительной приоритетности бюджетных расходов в разных группах самоуправлений Латвии), корреляционный анализ (для изучения взаимозависимости «транспортных» и «производственных» расходов самоуправлений Латвии и состояния экономики соответствующих территорий), кластерный анализ (для идентификации различных типологических групп самоуправлений Латвии по изучаемым параметрам).

Источник эмпирической информации. Авторы использовали эмпирические данные из Отчётов о выполнении основного бюджета, поданных самоуправлениями Латвии в Государственную кассу в 2021 и 2022 году с учётом количества жителей на соответствующих муниципальных территориях (для расчёта показателей на душу населения).

Результаты проведённого эмпирического анализа показывают, что сравнительная приоритетность в бюджетных расходах самоуправлений Латвии детерминруется не состоянием местной экономики, а скорее географическим (или геополитическим/геоэкономическим) расположением территории самоуправления. В результате этого самоуправления Латвии группируются в территориальные кластеры, используя агломерационный эффект от концентрации транспортной инфраструктуры или производства (последнее более выражено в 2022 году).

Ключевые слова: приоритеты бюджетных расходов; самоуправления Латвии; экономика территории; транспортная инфраструктура; производство; статистический анализ.

Информация о статье: поступила 30 октября 2023 года.

PRIORITIES OF BUDGET EXPENDITURES OF LATVIAN MUNICIPALITIES IN THE CONTEXT OF IMPROVING THE LOCAL ECONOMY

Vera Komarova, Svetlana Ignatyeva, Janis Kudins, Edmunds Cizo

Daugavpils University, Republic of Latvia

ABSTRACT

The aim of this research is the identification of comparative priorities of budget expenditures of Latvian

municipalities (either on transport infrastructure or production) in the context of improving the local economy.

The scientific and practical significance of this study lies in the empirical evidence of current trends indicating the 'transport-production' economic restructuring of the territory of Latvia: strengthening economic (and demographic – in terms of population outflow) isolation of the south-eastern part of Latvia, the Latgale region, from the rest of its territory; the emergence of a compact block of 'production' self-governments (with a preference for supporting production to the development of transport infrastructure) with a stable population; expansion of the cluster located in the center of Latvia (in and around the metropolitan agglomeration) and consisting of the most economically active 'transport' self-governments with a growing population.

Methods of the empirical analysis. The authors applied various methods of statistical analysis: frequency analysis, tests for normality and comparison of proportions of paired samples (to study the distribution of various states of the economy of Latvian municipalities), comparison of proportions of independent samples (to determine the statistical significance of differences in the comparative priority of budget expenditures in different groups of Latvian municipalities), correlation analysis (to study the interdependence of 'transport'/'production' expenses of Latvian municipalities and the state of the economy of the corresponding territories), cluster analysis (to identify different typological groups of Latvian municipalities according to the studied parameters).

Source of empirical information. The authors used empirical data from the Basic Budget Implementation Reports submitted by Latvian municipalities to the State Treasury in 2021 and 2022, taking into account the number of residents in the corresponding municipal territories (to calculate per capita indicators).

The results of the empirical analysis show that the comparative priority in the budget expenditures of Latvian municipalities is determined not by the state of the local economy, but rather by the geographical (or geopolitical / geoeconomic) location of the municipal territory. As a result of this, Latvian municipalities are grouped into territorial clusters, reaping the benefits of the agglomeration effect stemming from the concentration of either transport infrastructure or production, with the latter being more pronounced in 2022.

Keywords: priorities of budget expenditures; Latvian municipalities; local economy; transport infrastructure; production; statistical analysis.

Article info: received October 30, 2023.

ВВЕДЕНИЕ

Американская компания GovPilot – лидер по предоставлению услуг цифровой трансформации муниципалитетам США – сообщает о том, что переход от деловой культуры поездок в офисы каждый будний день к культуре «работы из любого места» создаёт для муниципальных властей новые экономические вызовы. Множество американцев переезжают из больших дорогих городов в более мелкие города и пригородные районы, а это означает, что местные самоуправления должны быть готовы к увеличению количества зарегистрированных на их территории новых предприятий, новому территориальному зонированию и необходимости создания более совершенной цифровой и физической инфраструктуры для размещения растущего населения и обеспечения его экономической активности [13]. В Латвии также наблюдается тенденция перемещения населения из столичного региона и других крупных городов в пригородные самоуправления (так называемый процесс джентри-

фикации села (англ. rural gentrification) – [9]): за период 2021–2022 годов население Риги уменьшилось на 2,5 тысячи человек (при населении в 610 тысяч человек в 2021 году), в то время как население близлежащих самоуправлений заметно увеличилось за этот же период – например, в Марупском крае (Пририжский регион) с населением в 33,6 тысячи человек (в 2021 году) годовой прирост составил 1,6 тысяч человек (рассчитано авторами по данным [5]). В то же время, например, в сильно удалённом от столицы Латвии Краславском крае (Латгальский регион) с населением в 21 тысячу человек (в 2021 году) годовое уменьшение количества жителей составило 570 человек (рассчитано авторами по данным [5]).

Таким образом, при изменившихся в ходе пандемии Covid-19 культурно-экономических условиях повышение как «удалённой», так и традиционной экономической активности на муниципальных территориях может быть важным фактором для устойчивого развития само-

управлений и регионов в целом, поскольку она [экономическая активность] способствует развитию и привлечению инвестиций, созданию рабочих мест, улучшению условий жизни и общего благосостояния населения соответствующих муниципальных территорий. Но что способствует повышению самой экономической активности на муниципальных территориях или более обще – улучшению экономики этих территорий?

В рамках данного исследования авторы ограничатся изучением лишь двух факторов, потенциально влияющих на экономику самоуправлений Латвии и конкурирующих между собой за финансовые средства из бюджетов местных самоуправлений, – это транспортная инфраструктура и производство на соответствующей территории. Например, столичное самоуправление Латвии продолжает значительно увеличивать бюджетные расходы на городскую транспортную инфраструктуру, которые в 2023 году достигнут исторически наивысшего объёма – 41 миллиона евро [8]. Напротив, самоуправление Вентспилса (одного из относительно крупных городов Латвии и полюса её роста) с помощью различных видов деятельности, включая финансовую, административную и информационную поддержку, способствует созданию в городе и привлечению новых предприятий, а также поддерживает и мотивирует существующие предприятия [7], т. е. стимулирует в первую очередь развитие производства, а не транспортной инфраструктуры. Тогда основной исследовательский вопрос в рамках данной статьи можно сформулировать следующим образом: что является сравнительным приоритетом бюджетных расходов самоуправлений Латвии в контексте улучшения экономики территорий – транспортная инфраструктура или производство – и чем это определяется?

Целью данного исследования является определение сравнительных приоритетов бюджетных расходов самоуправлений Латвии (на транспортную инфраструктуру или производство) в контексте улучшения местной экономики. Для достижения этой цели будут использованы различные методы статистического анализа, а эмпирической базой для проведения данного исследования являются Отчёты о выполнении основного бюджета (латыш. *Pamatbudžeta*

izpildes pārskats), поданные самоуправлениями Латвии в Государственную кассу в 2021 и 2022 годах [26] с учётом количества жителей [5] на соответствующих муниципальных территориях (для расчёта показателей на душу населения). Период с 2021 по 2022 год – время после проведения в 2020 году реформы¹ территориально-административного устройства Латвии [23] – является основным ограничением для результатов данного исследования, но в то же время позволяет в определённой мере оценить первые последствия этой реформы для экономического развития самоуправлений Латвии.

В следующем разделе статьи проведён обзор и анализ литературы, содержащей результаты исследований о значимости транспортной инфраструктуры и производства для улучшения экономики территорий, далее авторы описывают концептуальную основу данного исследования, материалы и методы, затем показывают и обсуждают его результаты, на основании которых делают определённые выводы и дают оценку приоритетам бюджетных расходов самоуправлений Латвии в контексте улучшения экономики территорий.

ОБЗОР И АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ

В международном научном пространстве проведено множество исследований, в рамках которых изучалась значимость транспортной инфраструктуры для экономического роста и развития (экономического, долгосрочного и т. п.) территорий, а также для повышения экономической дееспособности (англ. *economic performance*) территорий [1, 2, 6, 12, 17, 19, 20, 22, 29, 31]. В то же время проведено достаточное количество исследований (но кажется, что значительно меньше, чем о значимости транспортной инфраструктуры), изучавших значимость производства для экономического роста и развития территорий, а также для повышения их экономической дееспособности [10, 11, 30].

Результаты первой группы исследований – о значимости развитой транспортной инфраструктуры для экономики территорий – практически

¹ Проведённая в 2020 году реформа территориально-административного устройства Латвии предусматривала «укрупнение» самоуправлений – прежние 119 самоуправлений объединились в 43 новых самоуправления [23].

в один голос говорят в пользу гипотезы о приоритетности транспортной инфраструктуры для экономического развития территории в современном мире. Например, американский исследователь Д. Ашауэр (D. Aschauer), используя данные о реальном росте доходов на душу населения, а также о качестве и количестве автомобильных дорог в 48 штатах США за период с 1960 по 1985 год, пришёл к эмпирически обоснованному выводу о том, что качество и количество автомобильных дорог (как городских, так и сельских) имеет прямое влияние на экономический рост и сформулировал этот вывод в виде краткого тезиса: хорошие дороги – хороший бизнес [1]. Механизм этого влияния он объясняет следующим образом: повышение уровня и качества пропускной способности автомобильных дорог расширяет спектр транспортных услуг и тем самым увеличивает предельный продукт частного капитала. В свою очередь, более высокий предельный продукт капитала способствует увеличению инвестиций в физический капитал и росту доходов и выпуска на душу населения. Таким образом, самоуправления могут оказывать влияние на темпы экономического роста в пределах своей территории [1]. В результате исследования Д. Ашауэра выводится следующая логическая цепочка: развитая транспортная инфраструктура – развитый бизнес (включая производство) – развитая экономика территории.

В свою очередь, американская исследовательница Э. Муннелл (A. Munnell), опираясь на результаты исследований Д. Ашауэра и других учёных-экономистов, изучала влияние инвестиций в общественную (включая транспортную) инфраструктуру на экономический рост в США, под экономическим ростом понимая рост экономической активности и сравнивая аргументы сторонников и противников инвестиций в общественную инфраструктуру [19]. В результате Э. Муннелл пришла к выводу о том, что в дополнение к немедленным экономическим эффектам, инвестиции в общественную инфраструктуру имеют значительное положительное влияние на объём производства и рост экономики [19]. По её мнению, эта область исследований может иметь важные последствия для экономической политики в любой стране.

Латвийские исследователи И. Ниедоле (I. Niedole) и Д. Аверьянов (D. Averjanovs), проведя эмпирическое исследование достижимости территории на примере одного самоуправления Латвии, пришли к выводу о том, что использование ресурсов территории есть функция от развитости транспортной инфраструктуры на этой территории [20]. Таким образом, транспортная инфраструктура рассматривается как один из основных элементов, оказывающих влияние на решение о размещении производственных предприятий [1, 6, 20], ещё раз подтверждая причинно-следственную цепочку, выведенную Д. Ашауэром: развитая транспортная инфраструктура – развитое производство – развитая экономика территории [1]. В этой связи основной проблемой латвийской транспортной инфраструктуры является её интеграция в общеевропейскую транспортную систему. К примеру, до сих пор (хотя прошло уже больше 30 лет с момента распада СССР и восстановления независимости Латвии) весь железнодорожный транспорт в Латвии эксплуатируется на железных дорогах российского стандарта (общая протяжённость таких ширококолейных железных дорог в Латвии – 2270 км, из них 2206,3 км находятся в эксплуатации) [2].

Группа британских исследователей провела мета-анализ эмпирических данных по продуктивности инвестиций в транспортную инфраструктуру и пришла к выводу о том, что такого рода инвестиции широко используются лицами, принимающими решения, для стимулирования экономического роста, особенно в периоды экономического спада [17]. Исследователи отмечают, что с конца 1980-х годов в международном научном пространстве проводились обширные исследования связи между транспортной инфраструктурой и экономическими показателями, в ходе которых получены самые разные данные. Например, результаты некоторых глобальных исследований показали, что влияние транспортной инфраструктуры на экономическое развитие территории выше в США, чем в европейских странах, оно выше для автомобильных дорог по сравнению с другими видами транспортной инфраструктуры, а также оно выше для сырьевого сектора, производства и строительства [17].

Таким образом, расширение транспортной инфраструктуры по всему миру и развитие транспортного сектора в целом намного более сложны с точки зрения эффектов и последствий, и многие исследователи ориентируются не на экономический рост, как результат развития транспортной инфраструктуры, а на более широкое измерение устойчивого развития (см., например, [22], [29]). В контексте устойчивого развития как потребности каждого общества значительная часть исследований ориентирована на анализ воздействия развития транспорта на экологическую и социальную составляющую, идущую бок о бок с экономическим ростом. Так, на транспортный сектор приходится около четверти выбросов углекислого газа (CO_2) в мире [16]. И хотя этот показатель относится к транспортному сектору вообще, но развитие именно транспортной инфраструктуры, являющейся «переносчиком транспорта», вносит свой огромный, хоть и не прямой, вклад в загрязнение окружающей среды транспортными средствами. Хотя группа китайских исследователей, применив регрессионные модели к анализу данных по 83 китайским городам за период 2000–2012 годов, обнаружила, что в долгосрочной перспективе инвестиции в городскую транспортную инфраструктуру могут уменьшить загрязнение воздуха [27]. В свою очередь, группа румынских учёных в своём исследовании относительно стран ЕС-28 пришли к выводу о том, что в краткосрочной перспективе имеется взаимосвязь между выбросами углекислого газа от железнодорожного транспорта и экономическим ростом, а также односторонняя связь, ведущая от экономического роста к повышению выбросов CO_2 от автомобильного и внутреннего авиасообщения [12]. В контексте данного исследования ценна и прогрессивна сама идея рассматривать «транспортные» эффекты в связи с более широким понятием устойчивого развития территории [22, 29] или хотя бы экономического развития территории [31], а не только её экономического роста.

Что касается второй группы исследований – о значимости развитого производства для экономики территорий – то, по мнению китайского исследователя Л. Йонг (L. Yong), после перерыва в своей популярности в 1990-х годах промышленная политика снова привлекает внимание

во всём мире как движущая сила для достижения экономических и более широких социальных целей. Это особенно верно для стран с низким уровнем дохода, где индустриализация по-прежнему является важнейшей движущей силой экономического роста [30]. В свою очередь, в странах с высоким уровнем дохода наблюдаются тенденции перехода от ландшафтов производства к ландшафтам потребления, которые также нуждаются в транспортной инфраструктуре и предлагают производство другого типа и качества. Например, американский исследователь Дж. Дуайт Хайнс (J. Dwight Hines) сосредоточил внимание на переходе от предшествующего господства режима производства/потребления товаров/природных ресурсов к растущему доминированию производства/потребления «впечатлений» [9]. Растущее доминирование последнего в значительной степени является результатом усиливающейся местной миграции бывших городских представителей постиндустриального среднего класса в «богатые удобствами» предместья [9].

Как отмечают историки и теоретики развития, экономический рост имеет тенденцию быть локализованным [10]. Местные институции и коллективные агенты (как частные агенты, т. е. консорциумы предприятий, так и государственные агенты) могут способствовать укреплению сильных сторон, а также «ремонту» слабых сторон местной производственной системы путём использования конкретных инструментов поддержки местной экономики: например, решая проблемы, возникшие в результате сбоев рынка. Это означает не только введение специфических форм местного социального регулирования, но и установление неформальных связей между производственной системой и местным сообществом [11]. Для описания этих эффектов М. Фуджита (M. Fujita) и Дж. Тиссэ (J. Thisse) используют концепцию внешних эффектов А. Маршалла (A. Marshall), определяющую связанные с формированием производственной агломерации преимущества и предполагающую, что эти преимущества возникают вследствие: 1) формирования узкоспециализированной рабочей силы и развития новых идей, основанных как на накоплении человеческого капитала, так и на межличностной коммуникации; 2) наличия

специализированных услуг; 3) наличия современной инфраструктуры (в т. ч. транспортной) [10].

Вообще, для обозначения сферы приложения желаемого эффекта от развитой транспортной инфраструктуры или развитого производства в экономических исследованиях используется широкий спектр терминов: экономический рост территории [1, 2, 19], включая её долгосрочный экономический рост [6, 12], экономическое и долгосрочное развитие [11, 22, 29, 31], социально-экономическое развитие [28], а также региональный рост [10]. Такое разнообразие в терминологии приводит к некоторой путанице, поскольку, к примеру, экономический рост далеко не всегда означает экономическое развитие (классиком понимания этой разницы, заключающейся в снижении безработицы и бедности при экономическом развитии – в дополнение к росту ВВП при экономическом росте, считается британский / новозеландский экономист Д. Сирс (D. Seers) [24]) и тем более – долгосрочное развитие территории. В современных экономических исследованиях «влияния развития производства на...» используются и такие, по мнению авторов, неточные термины, как региональный рост (англ. regional growth) [4, 10] и региональная долгосрочность (англ. regional sustainability) [25].

Таким образом, исследователи, изучающие экономические эффекты развитой транспортной инфраструктуры и развитого производства, не слишком заботятся о точности терминологии (используя даже такое противоречивое понятие, как продуктивное экономическое развитие (англ. efficient economic development) [21]; противоречиво оно потому, что любое экономическое развитие продуктивно уже хотя бы потому, что является развитием, а если оно непродуктивно, то это и не развитие), поэтому авторы данного исследования, следуя уже апробированному примеру некоторых исследователей [14, 18], будут изучать «влияние на экономику» (англ. impact on the economy) [18] или «улучшение местной экономики» (англ. improving local economy) [14] при помощи доступных в территориальной статистике Латвии показателей, свидетельствующих о состоянии экономики её самоуправлений.

Опираясь на результаты обзора и анализа литературы, проведённого в рамках данного

раздела статьи, авторы выдвигают гипотезу о том, что сравнительная приоритетность в бюджетных расходах самоуправлений (между двумя позициями – транспортная инфраструктура или производство) детерминирована состоянием местной экономики, т. е. скорее всего, самоуправления с более развитой экономикой сравнительно больше финансируют транспортную инфраструктуру (как движущую силу развития производства на соответствующей территории и дальнейшего роста местной экономики), чем производство, а самоуправления с менее развитой экономикой сравнительно больше финансируют именно производство на своей территории, что скорее, чем финансирование транспортной инфраструктуры, приводит к улучшению состояния их экономики.

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ ОСНОВА ИССЛЕДОВАНИЯ

Выдвинутая авторами гипотеза исследования, требующая эмпирического доказательства в рамках данной статьи, концептуально делится на две части: 1) детерминация сравнительной приоритетности в бюджетных расходах самоуправлений Латвии (предполагается, что такой детерминантой является состояние местной экономики); 2) влияние «транспортных» и «производственных» расходов самоуправлений Латвии на экономику соответствующих территорий (предполагается, что в самоуправлениях с более развитой экономикой именно «транспортные», а не «производственные» расходы бюджетов скорее приводят к улучшению местной экономики, а в самоуправлениях с менее развитой экономикой – наоборот).

В рамках данного исследования состояние экономики территории концептуально понимается через экономическую активность её населения [13] как ядро местной экономики, которое зарождается, растёт и развивается на определённой территории [4]. Как уже отмечалось во введении к данной статье, транспортная инфраструктура и производство являются одними из факторов, которые потенциально влияют на экономику самоуправлений, улучшая её состояние через повышение экономической активности населения соответствующих территорий, и конкурируют между собой за бюджетное финансирование в самоуправлениях. В свою очередь,

само состояние местной экономики потенциально влияет на принятие решения о сравнительном приоритете в распределении бюджетных расходов между двумя позициями – транспортная инфраструктура и производство.

Тогда схематически концептуальная модель, на основе которой будет строиться эмпирическое доказательство гипотезы данного исследования, может выглядеть, как показано на рисунке 1.

В следующем разделе данной статьи представлена эмпирическая интерпретация каждого из основных понятий, содержащихся в схематичной концептуальной модели и необходимых для доказательства гипотезы данного исследования, – состояние местной экономики, уровень бюджетных расходов самоуправлений на транспортную инфраструктуру на соответствующей территории, уровень бюджетных расходов самоуправлений на производство на соответствующей территории, а также показаны инструменты их измерения и эмпирическая база данного исследования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Как уже отмечалось во введении к данной статье, эмпирической базой для проведения данно-

го исследования являются Отчёты о выполнении основного бюджета, поданные самоуправлениями Латвии в Государственную кассу в 2021 и 2022 годах [26] с учётом количества жителей [5] на соответствующих муниципальных территориях (для расчёта – при необходимости – показателей на душу населения). Административное деление Латвии на муниципальные территории – 36 краёв и 7 городов государственного значения, не входящих в состав краёв, – является таковым с 1 июля 2021 года в соответствии с Законом Латвийской Республики «Об административных территориях и населённых пунктах» (Saeima of Latvia, 2020). Все самоуправления Латвии – как краевые, так и городские – вошли в выборку данного исследования, состоящую из 43 объектов и совпадающую с генеральной совокупностью самоуправлений Латвии. Такое сравнительно небольшое количество объектов допускается при анализе статистическими методами [15], но требует повышенного внимания к статистической значимости полученных результатов.

Для достижения цели данного исследования будут использованы различные методы статистического анализа – такие, как частотный анализ, тесты на нормальность и сравнение

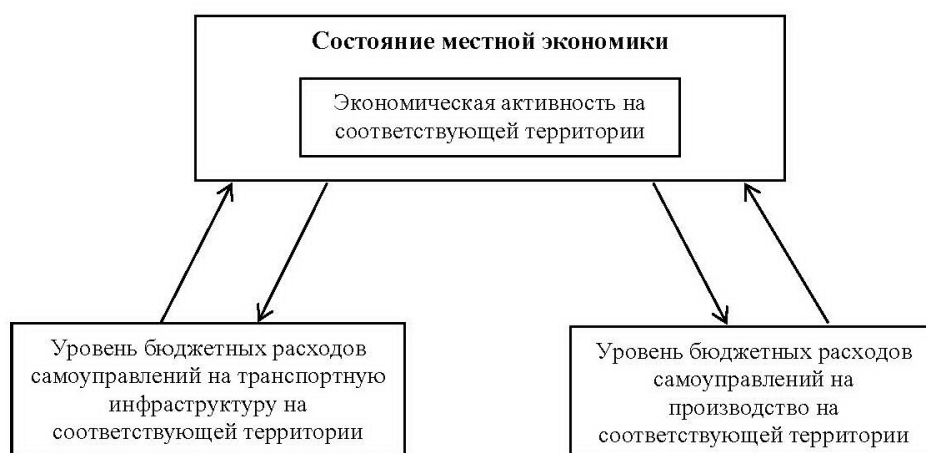


Рисунок 1 – Схематичная концептуальная модель взаимосвязи состояния местной экономики и бюджетных расходов самоуправлений на транспортную инфраструктуру и производство

Источник: разработано авторами на основе [1, 10, 11, 20, 30].

пропорций попарных выборок (для изучения распределения различных состояний экономики самоуправлений Латвии), сравнение пропорций независимых выборок (для определения статистической значимости различий в сравнительной приоритетности бюджетных расходов в разных группах самоуправлений Латвии), корреляционный анализ (для изучения взаимозависимости «транспортных»/«производственных» расходов самоуправлений Латвии и состояния экономики соответствующих территорий), далее, при наличии статистически значимой корреляции, – регрессионный анализ (для выявления причинно-следственной связи, а не только корреляционной взаимозависимости), а при отсутствии таковой – кластерный анализ (для идентификации различных типологических групп самоуправлений Латвии по изучаемым параметрам).

ЭМПИРИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПОНЯТИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ГИПОТЕЗЫ ДАННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

В международной исследовательской практике состояние местной экономики принято эмпирически интерпретировать и измерять с помощью различных показателей – например, с помощью валового регионального продукта (общего, на душу населения, на одного занятого, темпов их роста), пропорций распределения экономически активного населения (занятых и безработных) и т. д. Все эти показатели характеризуют состояние местной экономики, но для конкретного эмпирического исследования могут быть выбраны лишь некоторые из них – в зависимости от авторской концепции исследования

и доступности статистической информации на территориальном уровне самоуправлений.

Состояние местной экономики (от менее развитой к более развитой), в рамках данного исследования концептуально понимаемое через экономическую активность населения на соответствующей территории, эмпирически интерпретируется как размер среднегодового подоходного налога на душу населения, зачисляемого в бюджеты самоуправлений Латвии [3]. Среднее значение среднегодового подоходного налога на душу населения рассчитывается путём деления позиции 1.1.1.0 «Подоходный налог с населения» (в доходной части бюджета самоуправлений) Отчёта о выполнении основного бюджета (*2PB_Pasv*) [26] на среднегодовое количество жителей на соответствующей территории [5].

Далее необходимо представить чёткую эмпирическую интерпретацию того, какую местную экономику, т. е. с каким размером среднегодового подоходного налога на душу населения мы будем обозначать как менее развитую и какую – как более развитую. Для этого необходимо выяснить среднее и медианное значения соответствующего показателя при помощи частотного анализа данных за 2021 и 2022 годы (таблица 1).

Поскольку медианное значение среднегодового подоходного налога на душу населения не намного отличается от его среднего значения (таблица 1), то экономику той или иной территории можно эмпирически интерпретировать как менее развитую, если у неё показатель среднегодового подоходного налога на душу населения ниже среднего, и как более развитую, если у неё этот показатель выше среднего. Поскольку

Таблица 1 – Среднее и медианное значения среднегодового подоходного налога на душу населения в муниципалитетах Латвии, N = 43, 2021 и 2022 годы

Показатели	2021 год	2022 год
Среднее значение среднегодового подоходного налога на душу населения, евро	647,30	766,34
Медианное значение среднегодового подоходного налога на душу населения, евро	580,34	704,75

Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

всё-таки медианное значение ниже среднего значения (таблица 1), то количество самоуправлений Латвии с менее развитой экономикой будет больше, чем количество самоуправлений с более развитой экономикой.

Далее, уровень бюджетных расходов самоуправлений на транспортную инфраструктуру («транспортных» расходов) на соответствующей территории в рамках данного исследования эмпирически интерпретируется как процентная доля расходов бюджета на транспортную инфраструктуру по отношению к общему объёму его расходов в текущем году. При этом расходами бюджета на транспортную инфраструктуру будут считаться расходы, указанные в позиции 2246 «Управление и содержание дорог и улиц» (в расходной части бюджета) Отчёта о выполнении основного бюджета [26].

И, наконец, уровень бюджетных расходов самоуправлений на производство («производственных» расходов) на соответствующей территории эмпирически интерпретируется как процентная доля расходов бюджета на производство по отношению к общему объёму его

расходов в текущем году. При этом расходами бюджета на производство будут считаться расходы, указанные в позиции 3261 «Дотация из государственного и муниципального бюджета для предпринимателей» (в расходной части бюджета) Отчёта о выполнении основного бюджета [26].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследуемая генеральная совокупность самоуправлений Латвии ($N = 43$ – [23]) в соответствии с представленной в предыдущем разделе данной статьи эмпирической интерпретацией состояния местной экономики делится на две группы – самоуправления с менее развитой экономикой (ожидаемое большинство со среднегодовым подоходным налогом на душу населения ниже среднего значения – таблица 2) и самоуправления с более развитой экономикой (ожидаемое меньшинство со среднегодовым подоходным налогом на душу населения выше среднего значения – таблица 2).

Как показывают данные сравнения различий в пропорциях попарных выборок, статистически

Таблица 2 – Частотное распределение самоуправлений Латвии по состоянию местной экономики, $N = 43$, 2021 и 2022 годы

Группы самоуправлений	2021 год*		2022 год**		Двусторонняя значимость различий между 2022 и 2021 годами, р-значение
	В абсолютных значениях	В процентах	В абсолютных значениях	В процентах	
Самоуправления с менее развитой экономикой	28	65,1	26	60,5	0,250
Самоуправления с более развитой экономикой	15	34,9	17	39,5	0,157

Примечание: *В 2021 году самоуправлениями с менее развитой экономикой считаются те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего, т. е. ниже 647,30 евро, а самоуправлениями с более развитой экономикой – те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения выше среднего, т. е. выше 647,30 евро.

**В 2022 году самоуправлениями с менее развитой экономикой считаются те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего, т. е. ниже 766,34 евро, а самоуправлениями с более развитой экономикой – те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения выше среднего, т. е. выше 766,34 евро.

Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

значимой разницы в соотношении самоуправлений с менее развитой и более развитой экономикой в 2021 и 2022 годах не наблюдается, поскольку р-значения по обеим группам самоуправлений превышают порог значимости в 0,05 (таблица 2). Таким образом, можно констатировать, что удельный вес самоуправлений Латвии с менее развитой экономикой стабильно превышает долю самоуправлений с более развитой экономикой и составляет более 60 % (таблица 2). В свою очередь, распределение вероятностей размера среднегодового подоходного налога на душу населения в самоуправлениях Латвии является нормальным: р-значение равно 0,177 в 2021 году и 0,151 в 2022 году – это означает, что реальное распределение не отличается (статистически значимо) от нормального.

Как указывалось в предыдущем разделе данной статьи, уровень бюджетных расходов самоуправлений на транспортную инфраструктуру и уровень бюджетных расходов самоуправлений на производство рассчитываются в процентах от общих расходов бюджета. Там, где процентная доля расходов бюджета на транспортную инфраструктуру будет больше, чем доля расходов на производство, «транспортные» расходы будут считаться сравнительно приоритетными, и наоборот. Результаты частотного анализа в 2021 и 2022 годах показали, что в Латвии доминируют самоуправления со сравнительным «транспортным» приоритетом в расходах бюджета – 31 против 12 в обоих годах. При этом сравнительные приоритеты в паре «транспортных» и «производственных» расходов муниципальных бюджетов Латвии стабильны в течение двух анализируемых лет, поскольку только 2 из 43 самоуправлений сменило эти приоритеты: одно самоуправление – с «транспортного» на «производственный» (Лудзенский край, Латгальский регион), другое – наоборот (Саласпилсский край, Пририжский регион).

Определив сравнительные приоритеты в паре «транспортных» и «производственных» расходов муниципальных бюджетов Латвии, можно приступить собственно к доказательству гипотезы, хотя доминирование в Латвии самоуправлений со сравнительным «транспортным» приоритетом в расходах бюджета при одновременном доминировании самоуправлений с ме-

нее развитой экономикой является свидетельством не в пользу предположения о том, что самоуправления с менее развитой экономикой финансируют прежде всего производство (а не транспортную инфраструктуру) на своей территории и наоборот.

Первый способ, с помощью которого можно доказать или опровергнуть гипотезу данного исследования, – это сравнение пропорций приоритетности в бюджетных расходах между двумя позициями (транспортная инфраструктура и производство) в двух группах самоуправлений Латвии. В соответствии с гипотезой данного исследования предполагается, что самоуправления со сравнительным «транспортным» приоритетом бюджетных расходов должны статистически значимо преобладать в группе самоуправлений с более развитой экономикой и наоборот – самоуправления со сравнительным «производственным» приоритетом бюджетных расходов должны статистически значимо преобладать в группе самоуправлений с менее развитой экономикой.

Как показывают данные, представленные в таблице 3, пропорции сравнительных приоритетов бюджетных расходов – «транспортного» и «производственного» – не отличаются (статистически значимо) друг от друга на выборках самоуправлений Латвии с менее развитой и с более развитой экономикой ни в 2021, ни в 2022 году, т. е. расходы на транспортную инфраструктуру статистически равным образом доминируют как в группе самоуправлений с менее развитой экономикой, так и в группе самоуправлений с более развитой экономикой. Таким образом, с помощью сравнения пропорций приоритетности в бюджетных расходах между двумя позициями (транспортная инфраструктура и производство) в двух группах самоуправлений Латвии гипотеза данного исследования о том, что сравнительная приоритетность в бюджетных расходах самоуправлений детерминруется состоянием местной экономики, не подтверждается.

Второй способ, с помощью которого также можно доказать или опровергнуть гипотезу данного исследования, – это поиск корреляционной взаимосвязи между непрерывным множеством значений показателя состояния местной экономики (от 358 до 1214 евро среднегодового подоходного налога на душу населения в 2021 году и

Таблица 3 – Сравнение* пропорций приоритетности в бюджетных расходах между двумя позициями – транспортная инфраструктура и производство – по группам** самоуправлений Латвии, N = 43, 2021 и 2022 годы***

Сравнительная приоритетность в бюджетных расходах (между транспортной инфраструктурой и производством)	2021 год		2022 год	
	Самоуправления с менее развитой экономикой, n = 28	Самоуправления с более развитой экономикой, n = 15	Самоуправления с менее развитой экономикой, n = 26	Самоуправления с более развитой экономикой, n = 17
Самоуправления со сравнительным приоритетом «транспортных» расходов, %	78,6	60,0	76,9	64,7
Самоуправления со сравнительным приоритетом «производственных» расходов, %	21,4	40,0	23,1	35,3
Двусторонняя значимость различий между двумя группами самоуправлений, р-значение	0,196		0,383	

Примечание: *Для определения статистической значимости различий сравнительной приоритетности (между транспортной инфраструктурой и производством) в бюджетных расходах по группам самоуправлений Латвии используется метод сравнения пропорций независимых выборок.

**Группа с менее развитой экономикой и с более развитой экономикой.

***В 2021 году самоуправлениями с менее развитой экономикой считаются те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего, т.е. ниже 647,30 евро, а самоуправлениями с более развитой экономикой – те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения выше среднего, т.е. выше 647,30 евро; в 2022 году – соответственно ниже и выше 766,34 евро.

Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

от 426 до 1384 евро – в 2022 году), с одной стороны, и множеством значений приоритетности в бюджетных расходах самоуправлений (процентная доля расходов на транспортную инфраструктуру минус процентная доля расходов на производство) – с другой. При этом, чем больше первый показатель, тем лучше состояние местной экономики, а чем больше второй – тем выше сравнительная «транспортная» приоритетность в бюджетных расходах самоуправлений.

Как показывают результаты корреляционного анализа, представленные в таблице 4, статистически значимой взаимосвязи между состоянием местной экономики и сравнительной приоритетностью в бюджетных расходах

самоуправлений Латвии не наблюдалось ни в 2021, ни в 2022 году. Для большей стабильности полученных результатов авторы проверили ещё корреляцию состояния местной экономики с процентной долей расходов муниципальных бюджетов на транспортную инфраструктуру и на производство. Оказалось, что статистически значимой взаимосвязи между этими переменными тоже нет ни в 2021, ни в 2022 году: 0,026 ($p = 0,867$) между состоянием экономики и расходами на транспортную инфраструктуру в 2021 году и 0,031 ($p = 0,844$) – в 2022 году; 0,072 ($p = 0,645$) между состоянием экономики и расходами на производство в 2021 году и 0,137 ($p = 0,380$) – в 2022 году.

Таблица 4 – Корреляционная взаимосвязь между состоянием экономики* и сравнительной приоритетностью** в бюджетных расходах самоуправлений Латвии, N = 43, 2021 и 2022 годы

Коррелируемые переменные	Показатели	2021 год	2022 год
		Сравнительная приоритетность в бюджетных расходах, %	
Состояние местной экономики – размер среднегодового подоходного налога на душу населения, евро	Коэффициент корреляции Пирсона	-0,037	-0,082
	Двусторонняя значимость, р-значение	0,812	0,600
	Количество объектов	43	43

Примечание: *В 2021 году самоуправлениями с менее развитой экономикой считаются те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения ниже среднего, т. е. ниже 647,30 евро, а самоуправлениями с более развитой экономикой – те, у которых среднегодовой подоходный налог на душу населения выше среднего, т. е. выше 647,30 евро; в 2022 году – соответственно ниже и выше 766,34 евро.

** Рассчитана авторами как процентная доля расходов муниципального бюджета на транспортную инфраструктуру минус процентная доля расходов муниципального бюджета на производство.

Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

Таким образом, гипотеза данного исследования о том, что сравнительная приоритетность в муниципальных бюджетных расходах детерминирована состоянием местной экономики, не подтверждается ни путём сравнения пропорций приоритетности в бюджетных расходах между двумя позициями (транспортная инфраструктура и производство) в двух группах самоуправлений Латвии, ни с помощью анализа корреляционной взаимосвязи состояния местной экономики с процентной долей расходов муниципальных бюджетов на транспортную инфраструктуру и на производство. Тогда, в соответствии с методологией данного исследования, авторы проведут кластерный анализ с целью идентификации различных типологических групп самоуправлений Латвии по трём параметрам: состояние местной экономики, измеренное величиной среднегодового подоходного налога на душу населения, а также уровень бюджетных расходов самоуправлений на транспортную инфраструктуру и на производство, измеренные процентной долей соответствующих расходных позиций в общих расходах муниципальных бюджетов.

Результаты процесса агломерации кластеров – первой процедуры в реализации иерархического кластерного анализа – показали, что как в 2021, так и в 2022 году оптимальным количе-

ством кластеров, рассчитанным на основе фиксации того шага в процессе агломерации, после которого коэффициент возрастает скачкообразно, является 4.

Основные результаты кластерного анализа данных 2021 года по четырём типологическим группам самоуправлений Латвии представлены в таблице 5.

Как показывают основные результаты кластерного анализа данных 2021 года, представленные в таблице 5, вторая и четвёртая малочисленные типологические группы (по 3 самоуправления в каждой), схожие между собой относительно хорошим состоянием экономики, отличаются тем, что во второй группе транспортная инфраструктура является большим приоритетом бюджетных расходов по сравнению с производством, а в четвёртой группе сравнительная приоритетность в бюджетных расходах на транспортную инфраструктуру менее выражена по сравнению со второй группой. Тогда вторую группу можно назвать «транспортниками» с высокой экономической активностью (Рига, Адажский и Кекавский края), а четвёртую – самыми экономически активными, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов (Юрмала, Марупский и Ропажский края). Все эти самоуправления

Таблица 5 – Полученные в результате кластерного анализа типологические группы самоуправлений Латвии, N = 43, 2021 год

Позиции	1-ый кластер	2-ой кластер	3-ий кластер	4-ый кластер
Название кластера	Самые экономически неактивные, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов	«Транспортники» с высокой экономической активностью	Самоуправления со средним состоянием экономики и равным финансированием транспортной инфраструктуры и производства	Самые экономически активные, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов
Количество самоуправлений	22	3	15	3
Регион, где они расположены	Латгальский и Курземский регионы	Столичная агломерация (Рижский и Пририжский регионы)	Земгальский и Видземский регионы	Вблизи столичной агломерации
Среднегодовой подоходный налог на душу населения, евро	488,45	1023,03	694,87	1198,61
% бюджетных расходов на транспортную инфраструктуру	1,82	2,37	1,73	1,71
% бюджетных расходов на производство	0,75	0,16	1,69	0,76

Источник: Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

находятся в столичной агломерации (Рижский и Пририжский регионы) или вблизи неё.

Самая многочисленная типологическая группа (22 самоуправления) – это первая, в которой «транспортные» расходы бюджета доминируют над «производственными» практически в той же степени, что и в четвёртой группе, но, в противоположность 4-ой группе, это – самоуправления Латвии с наименее развитой экономикой (среднегодовой подоходный налог на душу населения у них – самый низкий) (таблица 5). В основном это – самоуправления Латгальского и Курземского регионов, и назвать их можно созвучно четвёртой группе (Юрмала, Марупский и Ропажский края) – самыми экономически неактивными, со сравнительно небольшим «транспорт-

ным» приоритетом бюджетных расходов.

И, наконец, третью типологическую группу, состоящую из 15 самоуправлений, можно назвать самоуправлениями со средним состоянием экономики и равным финансированием транспортной инфраструктуры и производства (таблица 5).

Для наглядности и лучшего пространственного восприятия результатов кластерного анализа данных 2021 года принадлежность каждого самоуправления Латвии к тому или иному кластеру (типологической группе) показана на рисунке 2.

Основные результаты кластерного анализа данных 2022 года, уловившие определённую динамику в «транспортно-производственной» экономической структуре территории Латвии,

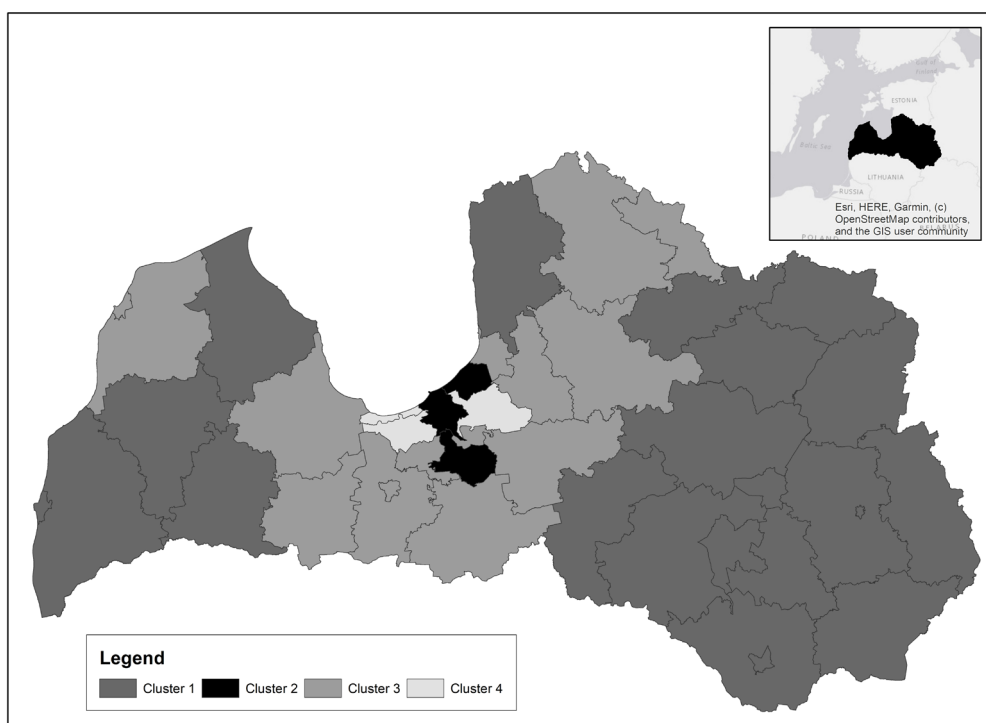


Рисунок 2 – Принадлежность самоуправлений Латвии к различным кластерам* по состоянию местной экономики и уровню бюджетных расходов на транспортную инфраструктуру и производство, N = 43, 2021 год

Примечание: *1-ый кластер – самые экономически неактивные, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов; 2-ой кластер – «транспортники» с высокой экономической активностью; 3-ий кластер – самоуправления со средним состоянием экономики и равным финансированием транспортной инфраструктуры и производства; 4-ый кластер – самые экономически активные, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов.

Источник: создано авторами в программе ArcGIS по результатам кластерного анализа данных [26].

представлены в таблице 6.

Для наглядности и лучшего пространственного восприятия результатов кластерного анализа данных 2022 года принадлежность каждого муниципалитета Латвии к тому или иному кластеру (типологической группе) показана на рисунке 3.

Как показывают основные результаты кластерного анализа данных 2021 и 2022 годов, представленные в таблицах 5 и 6 и на рисунках 2 и 3, за год произошли следующие заслуживающие внимания изменения в изучаемых кластерах, что может свидетельствовать о происходящей «транспортно-производственной» эко-

номической переструктуризации территории Латвии:

1) количество участников первого кластера самых экономически неактивных, со сравнительно большим (изначально) «транспортным» приоритетом бюджетных расходов уменьшилось в 2 раза (в нём остались только муниципалитеты Латгальского региона), а разрыв между процентной долей «транспортных» и «производственных» расходов муниципальных бюджетов увеличился с 2,5 раз до 3 раз;

2) два малочисленных в 2021 году кластера, в каждом из которых было по 3 самоуправ-

Таблица 6 – Полученные в результате кластерного анализа типологические группы самоуправлений Латвии, N = 43, 2022 год

Позиции	1-ый кластер	2-ой кластер	3-ий кластер	4-ый кластер
Название кластера	Самые экономически неактивные, со средним «транспортным» приоритетом бюджетных расходов	Самые экономически активные, со сравнительно большим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов	Самоуправления со средним состоянием экономики и сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов	Самоуправления со сравнительно высокой экономической активностью и «производственным» приоритетом бюджетных расходов
Количество самоуправлений	10	6	18	9
Регион, где они расположены	Латгальский регион	Столичная агломерация (Рижский и Пририжский регионы) и территория вблизи неё	Курземский, Земгальский и Видземский регионы	Территория вокруг 2-ого кластера и на севере Латвии (в Видземском регионе)
Среднегодовой подоходный налог на душу населения, евро	506,29	1219,97	686,90	911,77
% бюджетных расходов на транспортную инфраструктуру	1,66	2,02	1,81	1,42
% бюджетных расходов на производство	0,49	0,63	1,17	1,95

Источник: рассчитано авторами в программе SPSS по данным [26].

ления, – «транспортники» с высокой экономической активностью и самые экономически активные, со сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов – объединились в один кластер, состоящий теперь из 6 самоуправлений. В контексте данного исследования, основным результатом такого слияния кластеров стала аккумуляция их наиболее характерных признаков – высокой экономической активности и приоритета «транспортных» бюджетных расходов, и теперь этот кластер можно назвать так: самые экономически активные, со сравнительно большим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов. Интересно, что по приоритетности «транспортной» составляющей

в бюджетных расходах этот кластер с наиболее развитой экономикой стал похож на кластер самоуправлений с наименее развитой экономикой, поскольку в обеих группах процентная доля «транспортных» расходов почти в 3 раза превышает процентную долю «производственных» расходов муниципальных бюджетов;

3) в третьем кластере, оставшемся практически неизменным по количеству участников, нарушился баланс финансирования транспортной инфраструктуры и производства в пользу «транспортных» расходов муниципальных бюджетов, и теперь эту группу можно назвать самоуправлениями со средним состоянием экономики и сравнительно небольшим «транспортным»

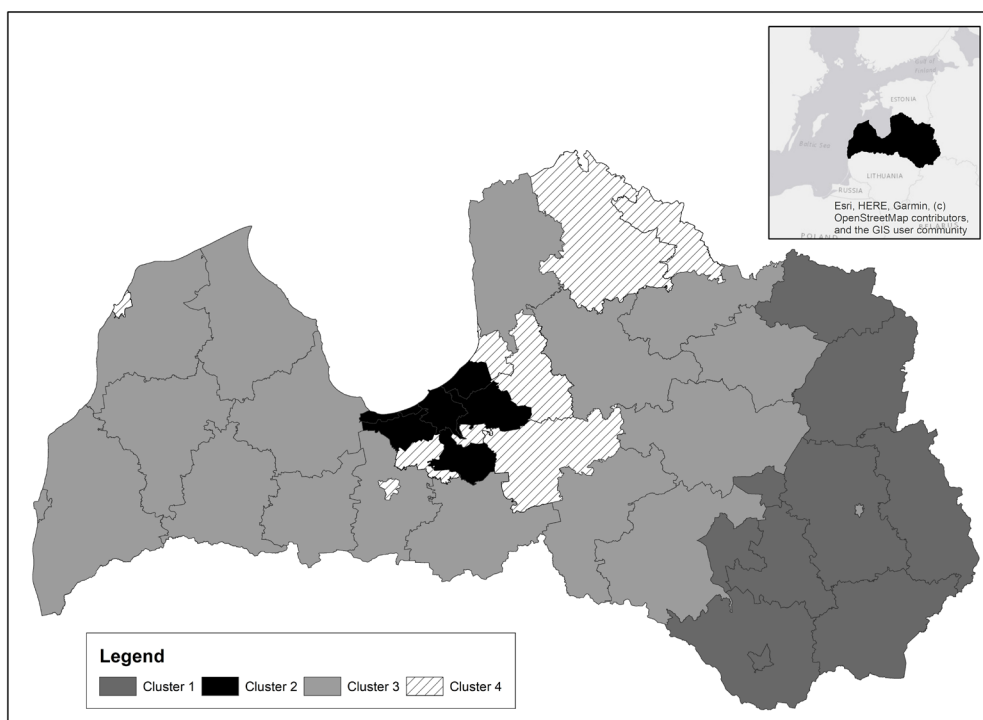


Рисунок 3 – Принадлежность самоуправлений Латвии к различным кластерам* по состоянию местной экономики и уровню бюджетных расходов на транспортную инфраструктуру и производство, N = 43, 2022 год

Примечание: *1-ый кластер – самые экономически неактивные, со средним «транспортным» приоритетом бюджетных расходов (среднегодовое изменение населения в самоуправлениях этого кластера – -384,5 человека); 2-ой кластер – самые экономически активные, со сравнительно большим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов (среднегодовое изменение населения в самоуправлениях этого кластера – +356,8 человека); 3-ий кластер – самоуправления со средним состоянием экономики и сравнительно небольшим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов (среднегодовое изменение населения в самоуправлениях этого кластера – -225,3 человека); 4-ый кластер – самоуправления со сравнительно высокой экономической активностью и «производственным» приоритетом бюджетных расходов (среднегодовое изменение населения в самоуправлениях этого кластера – +75,2 человека).

Источник: создано авторами в программе ArcGIS по результатам кластерного анализа данных [26].

приоритетом бюджетных расходов. Территория этого кластера пополнилась в основном самоуправлениями Курземского региона, попадавшими в 2021 году в первый кластер;

4) появился типологически новый кластер самоуправлений Латвии, отличающийся прежде всего тем, что процентная доля бюджетных расходов его участников – 9 самоуправлений – на производство превышает процентную долю расходов на транспортную инфраструктуру (1,95 %

и 1,42 % соответственно). Состояние экономики этих самоуправлений относительно хорошее (2-ое место среди четырёх кластеров), а территориально этот кластер составляют в основном те самоуправления, которые «окаймляют» второй (слившийся) кластер – самых экономически активных, со сравнительно большим «транспортным» приоритетом бюджетных расходов, а также конгломерат самоуправлений, расположенных в северной части Латвии, – в Видземском регионе.

ВЫВОДЫ

В международном научном пространстве активно изучается значимость транспортной инфраструктуры для экономического роста, развития (экономического, долгосрочного и т. п.) и повышения экономической дееспособности территорий, а также, но в гораздо меньшей степени, значимость производства для всего вышеперечисленного – особенно для территорий с менее развитой экономикой, где индустриализация по-прежнему является важнейшей движущей силой экономического роста. Проанализировав результаты уже проведённых исследований авторы выдвинули гипотезу о том, что сравнительная приоритетность в расходах муниципальных бюджетов между двумя позициями – транспортная инфраструктура или производство – детерминруется состоянием местной экономики. Кроме того, авторы предположили, что в самоуправлениях с более развитой экономикой именно «транспортные», а не «производственные» расходы бюджетов стимулируют рост экономики, а в самоуправлениях с менее развитой экономикой – наоборот. Выдвинутую гипотезу авторы проверили на эмпирических данных 2021 и 2022 годов по 43 самоуправлениям Латвии с помощью различных методов статистического анализа.

Основной вывод, который можно сделать по результатам анализа эмпирических данных, состоит в следующем: сравнительная приоритетность в бюджетных расходах самоуправлений Латвии детерминруется не состоянием местной экономики, а скорее географическим (или геополитическим/геоэкономическим) расположением территории самоуправления, т. е. пространственно-обусловленной необходимостью поддержания и улучшения транспортной инфраструктуры или поддержки и развития производства. В ре-

зультате этого самоуправления Латвии группируются в территориальные кластеры, используя агломерационный эффект [10] от концентрации транспортной инфраструктуры или производства (последнее более выражено в 2022 году). В свою очередь, как показали результаты корреляционного анализа, уровни бюджетных расходов самоуправлений Латвии на транспортную инфраструктуру и на производство, измеренные в процентных долях, не влияют (сколь-нибудь сильно и статистически значимо) на состояние их экономики, измеренное среднегодовым подоходным налогом на душу населения.

За последний год наметилась тенденция ещё большей экономической (и демографической – по показателю оттока населения) изоляции юго-восточной части Латвии – Латгальского региона – от остальной её территории, появление компактного блока самоуправлений-«производственников» (с предпочтением поддержки производства развитию транспортной инфраструктуры) со стабильной численностью населения, а также усиление кластера, находящегося в центре Латвии (в столичной агломерации и вокруг неё) и состоящего из наиболее экономически активных самоуправлений-«транспортников» с растущим населением. Такие тенденции могут свидетельствовать о происходящей «транспортно-производственной» экономической переструктуризации территории Латвии, причины которой требуют дальнейшего изучения, но можно предположить, что текущая геополитическая обстановка в восточноевропейском регионе играет в этом процессе основную детерминирующую роль и, скорее всего, гораздо большую, чем проведённая в 2020 году реформа территориально-административного устройства Латвии.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Aschauer, D. (1990), Highway capacity and economic growth, *Economic Perspectives*, 1990, № 14, С. 14–24.
2. Boruch, A. (2014), Development of transport infrastructure and economic growth of Latvia, *Proceedings of the 53rd International Scientific Conference of Daugavpils University*, 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dukonference.lv/files/proceedings_of_conf/53konf/ekonomika/Boruch.pdf. – Дата доступа: 26.10.2023.

3. Cabinet of Ministers of Latvia. (2014), Kārtība, kādā iedzīvotāju ienākuma nodokli, ar nodokli saistīto nokavējuma naudu un soda naudu ieskaita budžetā, *Latvijas Vēstnesis*, 2014, № 255, 23.12 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://likumi.lv/ta/id/271196-kartiba-kada-iedzivotaju-ienakuma-nodokli-ar-nodokli-saistito-nokavejuma-naudu-un-soda-naudu-ieskaita-budzeta>. – Дата доступа: 26.10.2023.
4. Capello, R. (2009), Regional growth and local development theories: conceptual evolution over fifty years of regional science, *Géographie, économie, société*, 2009, № 11 (1), С. 9–21.
5. Central Statistical Bureau of Latvia. (2023), Table IRS031. Population at the beginning of the year, its changes and the main indicators of natural movement in regions, cities and counties (after the administrative territorial reform in 2021) 2021–2023, *Statistical Database* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_POP_IR_IRS/IRS031. – Дата доступа: 26.10.2023.
6. Cigu, E., Agheorghiesei, D., Gavriluță, A., Toader, E. (2019), Transport infrastructure development, public performance and long-run economic growth: a case study for the EU-28 countries, *Sustainability*, 2019, № 11 (1), Article ID 67.
7. Daily Business. (2022), *Ventspils – pilsēta uzņēmējdarbībai un izglītībai* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.diena.lv/raksts/citi/reklamraksti/ventspils-pilseta-uznemejdarbibai-un-izglitibai-14286660>. – Дата доступа: 26.10.2023.
8. Department of External Communication of Riga City Council (2023), *Rīgas saimniecības sakārtošanas budžeta 2023. gadam prioritātes – ielu atjaunošana, sociālais atbalsts un izglītība* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.riga.lv/lv/jaunums/rigas-saimniecibas-sakartosanas-budzeta-2023-gadam-prioritates-ielu-atjaunosana-socialais-atbalsts-un-izglitiba?utm_source=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F. – Дата доступа: 26.10.2023.
9. Dwight Hines, J. (2011), The post-industrial regime of production/consumption and the rural gentrification of the New West Archipelago, *Antipode*, 2011, № 44 (1), С. 74–97.
10. Fujita, M., Thisse, J. (2002), *Economics of Agglomeration – Cities, Industrial Location and Regional Growth*, Cambridge, Cambridge University Press, 319 с.
11. Garofoli, G. (1993), Economic development, organization of production and territory, *Revue d'économie industrielle*, 1993, № 64, С. 22–37.
12. Gherghina, Ș., Onofrei, M., Vintilă, G., Armeanu, D. (2018), Empirical evidence from EU-28 countries on resilient transport infrastructure systems and sustainable economic growth, *Sustainability*, 2018, № 10 (8).
13. GovPilot. (2023), *How Municipalities Can Drive Local Economic Development* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.govpilot.com/blog/municipality-led-local-economic-development>. – Дата доступа: 26.10.2023.
14. Kastolani, W., Warlina, L., Luckyardi, S., Oktafiani, D., Meyer, D.F. (2022), Improving local economy through integrated waste management in Bandung city, Indonesia (Case study of Sukasari district), *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2022, № 9 (5), С. 874–888.
15. Kish, L. (1965), *Survey Sampling*, New York, John Wiley and Sons, 223 с.
16. Linton, C., Grant-Muller, S., Gale, W.F. (2015), Approaches and techniques for modelling CO₂ emissions from road transport, *Transportation Review*, 2015, № 35, С. 533–553.
17. Melo, P., Graham, D., Brage-Ardao, R. (2013), The productivity of transport infrastructure investment: a meta-analysis of empirical evidence, *Regional Science and Urban Economics*, 2013, № 43 (5), С. 695–706.
18. Meyer, D.F. (2019), A quantitative assessment of the impact of government activities on the economy of Poland, *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2019, № 6 (2), с. 220–233.
19. Munnell, A. (1992), Policy watch: infrastructure investment and economic growth, *Journal of Economic Perspectives*, 1992, № 6, С. 189–198.
20. Niedole, I., Averyanov, D. (2011), Transporta infrastruktūras attīstības nozīme teritorijas resursu izmantošanā, *Sustainable Spatial Development*, 2011, № 3, С. 20–25.
21. Popov, A.A., Karataeva, T.A., Danilova, E.V., Myreev, A.N., Sergeeva, V.V. (2022), Diversification as a factor in the efficient economic development of the Republic of Sakha (Yakutia), Russia, *Journal of Eastern European*

- and *Central Asian Research (JEECAR)*, 2022, № 9 (2), С. 183–193.
22. Prus, P., Sikora, M. (2021), The impact of transport infrastructure on the sustainable development of the region – case study, *Agriculture*, 2021, № 11, Article ID 279.
 23. Saeima of Latvia (2020), Law on administrative territories and populated areas, *Latvijas Vēstnesis*, 2020, № 119C, 22.06 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://likumi.lv/ta/en/en/id/315654>. – Дата доступа: 26.10.2023.
 24. Seers, D. (1969), The Meaning of Development, *International Development Review*, 1969, № 11 (4), С. 3–4.
 25. Semin, A. (2021), Impact of peat industry development on regional sustainability, *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2021, № 8 (2), С. 214–227.
 26. State Treasury of Latvia. (2023), *2PB_Pasv – Pamatbudžeta izpildes pārskats* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e2.kase.gov.lv/pub5.5_pasv/code/pub.php?module=pub. – Дата доступа: 26.10.2023.
 27. Sun, C.W., Luo, Y., Li, J.L. (2018), Urban traffic infrastructure investment and air pollution: Evidence from the 83 cities in China, *Journal of Cleaner Production*, 2018, № 172, С. 488–496.
 28. Voronov, V. (2023), Differences in the management of socio-economic development in the Baltic states: levels, approaches and models, *International Research Journal*, 2023, № 135 (9).
 29. Wang, L., Xue, X., Zhao, Z., Wang, Z. (2018), The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: emerging trends and challenges, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, № 15 (6), Article ID 1172.
 30. Yong, L. (2021), Why industrial development matters now more than ever before, *Industrial Analytics Platform* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iap.unido.org/articles/why-industrial-development-matters-now-more-ever>. – Дата доступа: 26.10.2023.
 31. Zhang, B., Qi, R. (2021), Transportation infrastructure, innovation capability, and urban economic development, *Transformations in Business & Economics*, 2021, № 20 (3C), С. 526–545.

REFERENCES

1. Aschauer, D. (1990), Highway capacity and economic growth, *Economic Perspectives*, 1990, № 14, pp. 14–24.
2. Boruch, A. (2014), Development of transport infrastructure and economic growth of Latvia, *Proceedings of the 53rd International Scientific Conference of Daugavpils University*, available at: https://dukonference.lv/files/proceedings_of_conf/53konf/ekonomika/Boruch.pdf (accessed 26.10.2023).
3. Cabinet of Ministers of Latvia (2014), Kartība, kada iedzīvotāju ienākuma nodokli, ar nodokli saistīto nokavejuma naudu un soda naudu ieskaita budžeta [The order in which personal income tax, tax-related late fees and fines are included in the budget], *Latvijas Vēstnesis – Bulletin of Latvia*, 2014, № 255, 23.12, available at: <https://likumi.lv/ta/id/271196-kartiba-kada-iedzivotaju-ienakuma-nodokli-ar-nodokli-saistito-nokavejuma-naudu-un-soda-naudu-ieskaita-budzeta> (accessed 26.10.2023).
4. Capello, R. (2009), Regional growth and local development theories: conceptual evolution over fifty years of regional science, *Géographie, économie, société*, 2009, № 11 (1), pp. 9–21.
5. Central Statistical Bureau of Latvia. (2023), Table IRS031. Population at the beginning of the year, its changes and the main indicators of natural movement in regions, cities and counties (after the administrative territorial reform in 2021) 2021–2023, *Statistical Database*, available at: https://data.stat.gov.lv/pxweb/lv/OSP_PUB/START_POP_IR_IRS/IRS031 (accessed 26.10.2023).
6. Cigu, E., Agheorghiesei, D., Gavriluță, A., Toader, E. (2019), Transport infrastructure development, public performance and long-run economic growth: a case study for the EU-28 countries, *Sustainability*, 2019, № 11 (1), Article ID 67.
7. Daily Business (2022), *Ventspils – pilseta uzņēmējdarbībai un izglītībai* [Ventspils – a city for business and education], available at: <https://www.diena.lv/raksts/citi/reklamraksti/ventspils-pilseta-uznemejdarbiba-un-izglitiba-14286660> (accessed 26.10.2023).

8. Department of External Communication of Riga City Council (2023), *Rigas saimniecibas sakartosanas budzeta 2023. gadam prioritates – ielu atjaunosana, socialais atbalsts un izglitiba* [The priorities of the budget for the reorganization of Riga's economy for 2023 are street renovation, social support and education], available at: https://www.riga.lv/lv/jaunums/rigas-saimniecibas-sakartosanas-budzeta-2023-gadam-prioritates-ielu-atjaunosana-socialais-atbalsts-un-izglitiba?utm_source=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F (accessed 26.10.2023).
9. Dwight Hines, J. (2011), The post-industrial regime of production/consumption and the rural gentrification of the New West Archipelago, *Antipode*, 2011, № 44 (1), pp. 74–97.
10. Fujita, M., Thisse, J. (2002), *Economics of Agglomeration – Cities, Industrial Location and Regional Growth*, Cambridge, Cambridge University Press.
11. Garofoli, G. (1993), Economic development, organization of production and territory, *Revue d'économie industrielle*, 1993, № 64, pp. 22–37.
12. Gherghina, Ș., Onofrei, M., Vintilă, G., Armeanu, D. (2018), Empirical evidence from EU-28 countries on resilient transport infrastructure systems and sustainable economic growth, *Sustainability*, 2018, № 10 (8).
13. GovPilot (2023), *How Municipalities Can Drive Local Economic Development*, available at: <https://www.govpilot.com/blog/municipality-led-local-economic-development> (accessed 26.10.2023).
14. Kastolani, W., Warlina, L., Luckyardi, S., Oktafiani, D., Meyer, D.F. (2022), Improving local economy through integrated waste management in Bandung city, Indonesia (Case study of Sukasari district), *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2022, № 9 (5), pp. 874–888.
15. Kish, L. (1965), *Survey Sampling*, New York, John Wiley and Sons.
16. Linton, C., Grant-Muller, S., Gale, W.F. (2015), Approaches and techniques for modelling CO₂ emissions from road transport, *Transportation Review*, 2015, № 35, pp. 533–553.
17. Melo, P., Graham, D., Brage-Ardao, R. (2013), The productivity of transport infrastructure investment: a meta-analysis of empirical evidence, *Regional Science and Urban Economics*, 2013, № 43 (5), pp. 695–706.
18. Meyer, D.F. (2019), A quantitative assessment of the impact of government activities on the economy of Poland, *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2019, № 6 (2), pp. 220–233.
19. Munnell, A. (1992), Policy watch: infrastructure investment and economic growth, *Journal of Economic Perspectives*, 1992, № 6, pp. 189–198.
20. Niedole, I., Averyanov, D. (2011), Transporta infrastrukturas attistibas nozime teritorijas resursu izmantosana [The importance of the development of the transport infrastructure in the use of the territory's resources], *Sustainable Spatial Development*, 2011, № 3, pp. 20–25.
21. Popov, A. A., Karataeva, T. A., Danilova, E. V., Myreev, A. N., Sergeeva, V. V. (2022), Diversification as a factor in the efficient economic development of the Republic of Sakha (Yakutia), Russia, *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2022, № 9 (2), pp. 183–193.
22. Prus, P., Sikora, M. (2021), The impact of transport infrastructure on the sustainable development of the region – case study, *Agriculture*, 2021, № 11, Article ID 279.
23. Saeima of Latvia. (2020), Law on administrative territories and populated areas, *Latvijas Vestnesis – Bulletin of Latvia*, 2020, № 119C, 22.06, available at: <https://likumi.lv/ta/en/en/id/315654> (accessed 26.10.2023).
24. Seers, D. (1969), The Meaning of Development, *International Development Review*, 1969, № 11 (4), pp. 3–4.
25. Semin, A. (2021), Impact of peat industry development on regional sustainability, *Journal of Eastern European and Central Asian Research (JEECAR)*, 2021, № 8 (2), pp. 214–227.
26. State Treasury of Latvia. (2023), *2PB_Pasv – Pamatbudzeta izpildes parskats* [Basic Budget Implementation Report], available at: https://e2.kase.gov.lv/pub5.5_pasv/code/pub.php?module=pub (accessed 26.10.2023).
27. Sun, C.W., Luo, Y., Li, J.L. (2018), Urban traffic infrastructure investment and air pollution: Evidence from the 83 cities in China, *Journal of Cleaner Production*, 2018, № 172, pp. 488–496.
28. Voronov, V. (2023), Differences in the management of socio-economic development in the Baltic states: levels, approaches and models, *International Research Journal*, 2023, № 135 (9).

29. Wang, L., Xue, X., Zhao, Z., Wang, Z. (2018), The impacts of transportation infrastructure on sustainable development: emerging trends and challenges, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, № 15 (6), Article ID 1172.
30. Yong, L. (2021), Why industrial development matters now more than ever before, *Industrial Analytics Platform*, available at: <https://iap.unido.org/articles/why-industrial-development-matters-now-more-ever> (accessed 26.10.2023).
31. Zhang, B., Qi, R. (2021), Transportation infrastructure, innovation capability, and urban economic development, *Transformations in Business & Economics*, 2021, № 20 (3C), pp. 526–545.

Информация об авторах

Information about the authors

Вера Комарова

Доктор экономики, ведущий исследователь, Институт гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика. E-mail: vera.komarova@du.lv

Светлана Игнатьева

Доктор физики, доцент кафедры «Информатика», Факультет естественных наук и здравоохранения, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика.
E-mail: svetlana.ignatjeva@du.lv

Янис Кудиньш

Доктор наук в социальных науках, доцент кафедры «Экономика», Факультет гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика.
E-mail: janis.kudins@du.lv

Эдмунд Чижо

Доктор наук в экономике и предпринимательстве, доцент кафедры «Экономика», Факультет гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет, Латвийская Республика.
E-mail: cedmunds.cizo@du.lv

Vera Komarova

Dr.oec., Leading Researcher at the Institute of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University, Republic of Latvia.
E-mail: vera.komarova@du.lv

Svetlana Ignatyeva

Dr.phys., Assistant Professor at the Department "Computer Science", Faculty of Natural Sciences and Healthcare, Daugavpils University, Republic of Latvia.
E-mail: svetlana.ignatjeva@du.lv

Janis Kudins

Science Doctor (Ph.D.) in Social Sciences, Assistant Professor at the Department "Economics", Faculty of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University, Republic of Latvia.
E-mail: janis.kudins@du.lv

Edmunds Cizo

Science Doctor (Ph.D.) in Economics and Business, Assistant Professor at the Department "Economics", Faculty of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University, Republic of Latvia.
E-mail: cedmunds.cizo@du.lv

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

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 Times New Roman, 12 пт, с полями страницы (верхнее, нижнее, левое, правое) – 20 мм и одинарным межстрочным интервалом;

- страницы рукописи статьи должны быть пронумерованы;

- объем научной статьи без учета аннотации и списка использованных источников должен составлять от 20 000 до 40 000 печатных знаков (6–12 страниц); объем обзорной статьи – не менее 10 страниц;

- в файлах не должно быть макросов, колонтитулов и других сложных элементов форматирования за исключением нумерации страниц;

- исключается автоматическая или ручная расстановка переносов;

- формулы набираются в редакторе формул, совместимым с Microsoft Word, полужирным курсивом;

- таблицы располагаются после первого упоминания в тексте. При этом они не должны дублировать сведения, отображенные на графиках. Заголовки таблиц располагаются по центру страницы. Табличные данные – по центру или выравниваются по левому краю. Заливка не используется;

- иллюстрации располагаются после первого упоминания о них в тексте. Каждая иллюстрация должна иметь подрисуночную надпись (Times New Roman, 11 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 иллюстраций с использованием программ Excel и PowerPoint авторы должны дополнительно представить исходные файлы электронных таблиц, презентаций и т. д.;

- иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с порядком цитирования

в тексте. Нумерация формул приводится арабскими цифрами в круглых скобках по правому краю страницы;

– в случае представления статьи на русском языке необходимо дополнить подрисуночные надписи и названия таблиц переводом на английский язык;

– распечатка статьи должна полностью соответствовать приложенному файлу.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются.

14. Авторы статей несут ответственность за достоверность приводимых в статье данных и результатов исследований.

15. Редакция не взимает плату за опубликование научных статей.

16. Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей, представленных лицами, осуществляющими послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство) в год завершения обучения.

17. Поступившие в редакцию статьи после предварительной экспертизы на соответствие

предъявляемым требованиям направляются двум специалистам для проведения «слепого» рецензирования. Окончательное решение о публикации принимается на заседании редакционной коллегии с учетом результатов рецензирования.

18. Отклоненные редколлегией рукописи статей авторам не возвращаются.

19. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения в тексте статьи, аннотации, не искажающие основное содержание статьи. Сверстанные тексты статей до опубликования направляются авторам для согласования.

20. Статьи представляются в редакцию по адресу: 210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72, Берашевич Ирине Васильевне. Электронный вариант материалов допускается направлять по электронной почте на адрес vestnik-vstu@yandex.by ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

ОФОРМЛЕНИЕ ССЫЛОК НА ИСТОЧНИКИ И СПИСКА ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Для цитирования информационных ресурсов рекомендуется использовать Гарвардский стиль оформления (Harvard).

Ссылка на источник приводится в скобках и состоит из фамилии автора на языке источника и года публикации (Smith, 2020).

Если цитируются несколько источников в одних круглых скобках, следует перечислить их в том же порядке, в котором они указаны в списке литературы, и использовать точку с запятой для их разделения (Johnson, 2015; Smith, 2014).

Цитата приводится в кавычках с указанием номера страницы "After that I lived like a young rajah in all the capitals of Europe..." (Fitzgerald, 2018, p. 43).

Если материал был создан несколькими лицами, их фамилии принято разделять союзом and или соответствующим символом &. Два автора (Johnson & Williams, 2019). Три автора (Taylor, Fisher & Brown, 2014). Если авторами выступает более четырех 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., Schwegker, 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

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).

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, то по названию). В начале списка перечисляются русскоязычные источники, затем иностранные.

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>.

Таблица 2

Статья в научном журнале	Фамилия, И.О. (год). Перевод названия статьи на английский язык [Название в транслитерации]. <i>Название издания в транслитерации</i> = на английском языке курсивом, vol. номер тома, no. номер выпуска (если он есть), pp. номера страниц статьи (In Russian).
Книга	Фамилия, И.О. (год). Название в транслитерации курсивом [Название на английском языке]. Город: издательство, страна (In Russian).

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

**ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 3 (46)

Дизайн и вёрстка издания **Погорельская С.И.**

Редактор издания **Никифорова Р.А.**

Дизайн обложки **Григорьева Н.В.**

Подписано в печать 23.02.2024. Печать цифровая. Гарнитура PT Sans. Усл. печ. листов 21,4.
Уч.-изд. листов 15,8. Формат 60х90 $\frac{1}{8}$. Тираж 100 экз. Заказ № 75.

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.