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

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 (42)

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

VESTNIK

OF VITEBSK STATE TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

№ 1 (42)

УДК 67/68 ББК 37.2 В 38

Редакционная коллегия:

Главный редактор – профессор Кузнецов А.А. Зам. главного редактора – профессор Ванкевич Е.В. Ответственный секретарь – профессор Рыклин Д.Б. Вестник Витебского государственного технологического университета. № 1 (42). VO.«RITV»

Члены редакционной коллегии

Технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения

- редактор проф., член-кор. НАН Беларуси Рубаник В.В. (ИТА НАН Беларуси)
- зам. редактора проф. Буркин А.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Абрамович Н.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Башметов В.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Вертешев С.М. (ПсковГУ, Российская Федерация)
- к.т.н. Гусаров А.М. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Джежора А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Казарновская Г.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Киосев Й. (Высшая школа Нидеррейна, Германия)
- проф. Кирсанова Е.А. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Коган А.Г. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Корниенко А.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)

- проф. Милашиус Р. (Каунасский технологический университет, Литва)
- проф. Ольшанский В.И. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Панкевич Д.К. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Пятов В.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Разумеев К.Э. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)
- проф. Садовский В.В. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- проф. Сакевич В.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- к.ф.м.н. Салак А.Н. (Университет Авейро, Португалия)
- проф. Сункуев Б.С. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Ташпулатов С.Ш. (Ташкентский институт легкой промышленности, Узбекистан)
- проф. Шустов Ю.С. (РГУ им. А.Н. Косыгина, Российская Федерация)

Химическая технология и экология

- редактор доц. Ясинская Н.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- зам. редактора доц. Гречаников А.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- член-кор. Академии инженерных наук Украины Власенко В.И.
 (Киевский национальный университет технологий и дизайна, Украина)
- нс Дутчик В. (Институт по исследованию полимеров, Германия)
- проф., акад. НАН Беларуси Лиштван И.И.
- проф., член-кор. НАН Беларуси Пантелеенко Ф.И. (БНТУ, Республика Беларусь)
- доц. Скобова Н.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Стёпин С.Г. (ВГМУ, Республика Беларусь)
- доц. Щербина Л.А. (МГУП, Республика Беларусь)

Экономика

- редактор проф. Яшева Г.А. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- зам. редактора доц. Касаева Т.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Богдан Н.И. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- проф. Быков А.А. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- проф. Варшавская Е.Я. (НИУ «Высшая школа экономики»,
 Российская Федерация)
- к.э.н. Зайцева О.В. (ВГТУ, Республика Беларусь)

- доц. Коробова Е.Н. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- проф. Махотаева М.Ю. (ПсковГУ, Российская Федерация)
- проф. Меньшиков В.В. (Даугавпилсский университет, Латвия)
- проф. Нехорошева Л.Н. (БГЭУ, Республика Беларусь)
- доц. Прокофьева Н.Л. (ВГТУ, Республика Беларусь)
- доц. Слонимская М.А. (ПГУ, Республика Беларусь)
- доц. Советникова О.П. (ВГТУ, Республика Беларусь)

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), научную электронную библиотеку «КиберЛенинка».

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

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

Web-сайт университета: http://vstu.by/ Тексты набраны с авторских оригиналов. © УО «Витебский государственный технологический университет», 2022

UDC 67/68 BBK 37.2 B 38 Vestnik of Vitebsk State Technological University. № 1 (42). FU"VSTU"

Editorial Board:

Prof. Kuzniatsou A.A., Editor-in-Chief Prof. Vankevich A.V., Deputy Editor-in-Chief Prof. Ryklin D.B., Executive secretary

Thematic Editors

Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building

- Corresponding Member of Belarus NAS, Prof. Rubanik V.V., Editor (Institute of Technical Acoustics of Belarus NAS)
- Prof. Burkin A.N., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Abramovich N.A. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Bashmetau V.S. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Verteshev S.M. (PskovSU, Russian Federation)
- Cand. Sc. (Eng) Husarau A.M. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Jezhora A.A. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Kazarnovskaya G.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Yordan Kyosev (Hochschule Niederrhein, Germany)
- Prof. Kirsanova E.A. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Prof. Kogan A.G. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Kornienko A.A. (VSTU, Republic of Belarus)

- Rimvydas Milašius (Kaunas University of Technology, Lithuania)
- Prof. Olshansky V.I. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Pankevich D.K. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Pyatov V.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Razumeev K.E. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)
- Prof. Sadovsky V.V. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Sakevich V.N. (VSTU, Republic of Belarus)
- Salak A.N., Researcher, University of Aveiro (Portugal)
- Prof. Tashpulatov S.S. (Tashkent Institute of Textile and Light Industry, Uzbekistan)
- Prof. Sunkuev B.S. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Shustov Yu.S. (Russian State University named after A.N. Kosygin, Russian Federation)

Chemical Technology and Ecology

- Assoc. Prof. Yasinskaya N.N., Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Grechanikov A.V., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Correspondent Member of the Engineering Academy of Ukraine
 Vlasenko V.I. (Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine)
- Dutschik V., Researcher (The Institute of Polymer Research, Dresden, Germany)
- Academician of the Belarus NAS, Prof. Lishtvan I.I.
- Correspondent Member of the Belarus NAS, Prof. Panteleenko F.I. (BNTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Skobova N.V. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Stepin S.G. (VSMU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Shcherbina L.A. (MSUFT, Republic of Belarus)

Economics

- Prof. Yasheva G.A., Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Kasaeva T.V., Deputy Editor (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Bogdan N.I. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Bykau A.A. (BSEU, Republic of Belarus)
- Prof. Varshavskaya E.Ya. (National Research University "Higher School of Economics", Russian Federation)
- Cand. Sc. (Econ) Zaitseva O.V. (VSTU, Republic of Belarus)

- Assoc. Prof. Korobova E.N. (VSTU, Republic of Belarus)
- Prof. Makhotaeva M.Yu. (PskovSU, Russian Federation)
- Prof. Menshikov V.V. (Daugavpils University, Latvia)
- Prof. Nekhorosheva L.N. (BSEU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Prakofyeva N.L. (VSTU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Slonimska M.A. (PSU, Republic of Belarus)
- Assoc. Prof. Sovetnikova O.P. (VSTU, Republic of Belarus)

The journal is registered in the Belarus Higher Attestation Commission Catalogue of of scientific publications on results of dissertation research, and indexed in the National information Analysis System "Russian Science Citation Index", Google Scholar, Erich Plus, Ulrich's Periodicals Directory, Open Academic Journals Index (OAJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) academic databases, 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 и оборудование легкой промышленности и машиностроения Башметов В.С. Сравнительный анализ технологических нагрузок на ремизки ткацкого станка при различных Беляков Н.В., Попок Н.Н., Яснев Д.А. Практическое приложение теории базирования для ориентации моделей деталей машин при их Деркаченко П.Г., Буркин А.Н. Капитонов А.В., Якубовский Р.Г. Метод расчета параметров точности изготовления колес с многопериодными дорожками Марущак Ю.И., Ленько К.А., Ясинская Н.Н., Петюль И.А., Грошев И.М. Обоснование параметров измерения коэффициента тангенциального сопротивления тканых Панкевич Д.К., Ивашко Е.И. Влияние структуры и свойств мембран на водопаропроницаемость содержащих их Пятов В.В., Голубев А.Н. Методика проектирования экструзионного инструмента......80 Чарковский А.В., Быковский Д.И. Исследование гигиенических свойств гибридного трикотажа платированных Химическая технология и экология Жорник В.И., Ивахник А.В., Запольский А.В. Экологически безопасные смазочные материалы на основе смеси растительного и Скобова Н.В., Ясинская Н.Н., Кузнецова А.О. Пути повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными

Томашева Р.Н., Филипович И.В. Технология и оценка качества выполнения красильно-жировальных процессов при выработке кож из шкур крупного рогатого скота
Экономика
Гуторова Е.В. Оценка влияния территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда
Калиновская И.Н. Анализ возможности применения концепции «HR Zero» белорусскими организациями 155
Коржак В.А. Анализ интеллектуального капитала Республики Беларусь
Кудиньш Я., Комарова В., Чижо Э., Кокаревича А. Влияние старения рабочей силы на производительность экономики
Никонова Т.В., Андриянова О.М., Цзиньтин В. Анализ модели экономического роста Китая
Рассеко Ю.Ю., Карпенко Е.М. Методика выбора инструментов управления региональным темпом жизни
Шерстнева О.М., Яшева Г.А. Стратегия «умной специализации» регионов: теоретические аспекты и европейский опыт
Субоцін А.А., Хаданёнак В.М. ГЕЛЬБЕРГ ЯКАЎ ЛЕЙМАВІЧ: ПЕДАГОГ, НАВУКОВЕЦ, ГЕРОЙ. ДА 100-ГОДДЗЯ З ДНЯ НАРАДЖЭННЯ
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
ПАМЯТКА АВТОРАМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА»

CONTENTS

Technology and Machinery of Light Industry and Machine Building
Bashmetau Valery Comparative Analysis of Technological Loads on the Loom Helders for Different Types of Shed9
Belyakov Nikolay, Popok Nikolay, Yasnev Danila Practical Application of Basing Theory for Orientations of Models of Machine Parts in their Additive Synthesis on 3D Printers
Dzerkachenka Pavel, Burkin Alexander Rationalization of the Method for Determining the Shape Retention of the Shoe Stiffeners
Kapitonov Alexander, Yakubovsky Roman Method for Calculating the Accuracy Parameters of Manufacturing Wheels with Multi-Period Tracks of Planetary Ball Gears
Maruschak Yulia, Lenko Ksenia, Yasinskaya Natalia, Petyul Irina, Groshev Ivan Substantiation of the Measurement Parameters of the Tangential Resistance Coefficient of Woven Fabrics
Pankevich Darya, Ivashko Katsiaryna Influence of Membrane Structure and Properties on Water Vapor Permeability of Membrane Materials
Pyatov Vladislav, Holubeu Aliaksei Extrusion Tool Design Technology
Charkovskij Aleksandr, Bykouski Dzianis Research of Hygienic Properties of Hybrid Plated Jersey Fabrics89
Chemical Technology and Ecology
Zhornik Viktor, Ivakhnik Anton, Zapolsky Andrey Environmentally Friendly Lubricants Based on the Mixture of the Vegetable and Mineral Oils
Skobova Natalia, Yasinskaya Natalia, Kuznetsova Anna Ways to Increase the Efficiency of Dyeing Cotton Fabrics with Natural Dyes
Tomasheva Rita, Filipovich Iryna Technology and Evaluation of the Quality of the Performance of Dyeing and Fat Processes in the Production of Leathers from Cattle Hides

Economics

Gutorova Alena Assessment of the Impact of Territorial Labor Mobility on the Efficiency of the Labor Market
Kalinouskaya Iryna Analysis of the Possibility of Applying the Hr Zero Concept by Belarusian Organizations 155
Korzhak Victoria Analysis of Intellectual Capital of Belarus
Kudins Janis, Komarova Vera, Cizo Edmunds, Kokarevica Anita Influence of Workforce Aging on the Productivity of Economy
Nikonova Tatsiana, Andryianova Olga, Jinting Wang Analyzing China's Economic Growth Model197
Rasseko Yuliya, Karpenko Yelena Methodology for Selecting Tools for Managing the Regional Pace of Life
Sherstneva Olga, Yasheva Galina "Smart Specialization" Strategy of Regions: Theoretical Aspects and European Experience 214

1	
ı	Subbotin Alexandr, Khadanionak Victor
ı	A TEACHER, A SCIENTIST, A HERO: YAKOV L. GELBERG
ı	(on the occasion of centenary of the birth)229
ı	
١	

INFORMATION ABOUT AUTHORS	233
INSTRUCTIONS FOR AUTHORS OF JOURNAL «VESTNIK OF VITEBSK STATE TECHNOLUNIVERSITY»	

ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И МАШИНОСТРОЕНИЯ

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА РЕМИЗКИ ТКАЦКОГО СТАНКА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЗЕВА

COMPARATIVE ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL LOADS ON THE LOOM HELDERS FOR DIFFERENT TYPES OF SHED

УДК 677.024.83

В.С. Башметов*

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-9-18

V. Bashmetau*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ТКАЦКИЙ СТАНОК, РЕМИЗКИ, ЗЕВООБ-РАЗОВАНИЕ, ВИДЫ ЗЕВА, ПАРАМЕТРЫ ЗЕВА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Предметом исследования является процесс зевообразования на ткацком станке при выработке тканей различных переплетений с различными видами зева. В работе выполнены расчеты и проведен сравнительный анализ величины суммарных технологических нагрузок со стороны основных нитей в среднем на ремизку в цикле зевообразования при чистом, нечистом и специальном зевах. Технологические нагрузки определялись в фазе полного раскрытия зева при использовании различного числа ремизок в заправке станка. Определена зависимость величины технологических нагрузок от вида образуемого на станке зева, от вида переплетения ткани, от числа и порядковых номеров ремизок в заправке станка, от положения ламельного прибора по высоте относительно линии заступа, то есть от степени разнонатянутости верхней и нижней ветвей зева.

Выбор вида образуемого на станке зева и оптимизация его параметров позволяют минимизировать технологические нагрузки со стороны основных нитей на ремизки зевообразовательного механизма с целью снижения напряженности технологического процесса ткачества.

ABSTRACT

LOOM, HEDDLES, SHEDDING, TYPES OF SHED, SHED PARAMETERS, TECHNOLOGICAL LOADS

Calculations and analysis of the magnitude of the total technological loads on the warp threads on average per heddle in each cycle of shedding with clean, uneven and special shade was carried out. Technological loads were determined in the phase of full opening of the shed with a different number of heddles in the loom. The research determined the dependence of technological loads on the type of shed formed on the loom, on the weave of the fabric, on the number and ordinal number of heddles, on the position of the warp stop motion in height relative to the spade line, on the degree of tension of the upper and lower components of the shed. The choice of the type of shed formed on the loom and the optimization of its parameters make it possible to minimize the technological loads on the part of the warp threads on the heddle of the shedding mechanism in order to reduce the tension of the technological process of weaving.

^{*} E-mail: tk.vstu@gmail.com (V. Bashmetau)

На ткацких станках различных конструкций при производстве тканей могут применяться различные виды зева: открытый, закрытый, полуоткрытый [1]. По чистоте зевы также могут быть различными: чистый, нечистый, смешанный, специальный.

Наибольшее применение при выработке тканей массового ассортимента получил открытый чистый зев. При таком зеве основные нити, заправленные в разные ремизки, со стороны опушки ткани при зевообразовании располагаются в двух плоскостях и образуют один угол зева. Для получения такого зева размах движения разных ремизок в вертикальном направлении должен быть различным. По мере удаления ремизок от опушки ткани их размах движения пропорционально увеличивается, соответственно увеличиваются деформация и натяжение основных нитей при зевообразовании.

При одинаковом размахе движения ремизок в вертикальном направлении на ткацком станке образуется нечистый зев. Основные нити различных ремизок у опушки ткани при зевообразовании располагаются в разных плоскостях и образуют различные углы зева. Деформации и натяжения основных нитей, заправленных в разные ремизки, также различны, но отличаются друг от друга в меньшей степени, чем при чистом зеве.

При смешанном зеве в его нижней части основные нити располагаются в одной плоскости, а в верхней части – в разных плоскостях, то есть в нижней части образуется чистый зев, а в верхней – нечистый.

В специальном зеве основные нити, заправленные в разные ремизки, имеют одинаковые деформации и натяжения в фазе его полного раскрытия. Это позволяет при зевообразовании получить наименьшую разницу в натяжениях основных нитей разных ремизок.

При работе ткацкого станка с любым видом зева зевообразовательный механизм испытывает определенные динамические и технологические нагрузки [2-6]. Динамические нагрузки обусловлены движением отдельных частей механизма, а технологические – воздействием основных нитей через галева на ремизки. Технологические нагрузки со стороны основных нитей [7] при полностью раскрытом зеве будут иметь

максимальное значение. Величина суммарных технологических нагрузок, действующих на все ремизки зевообразовательного механизма, зависит от многих факторов, в том числе от вида применяемого на станке зева.

Для комплексной оценки технологических нагрузок на ткацком станке можно определять их средние суммарные значения в расчете на одну ремизку в течение цикла зевообразования [8].

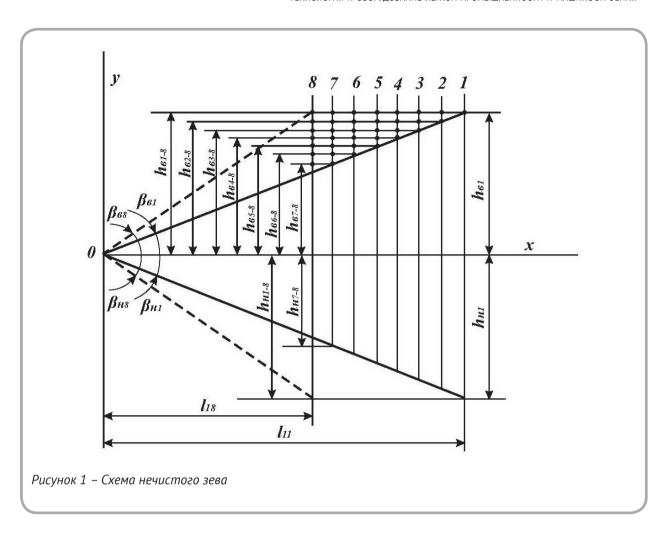
Ранее выполнены расчеты средних технологических нагрузок для условий применения чистого зева на ткацком станке с восьмиремизным зевообразовательным механизмом [8]. Определено, что при чистом зеве средние суммарные технологические нагрузки на ремизки зависят от переплетения вырабатываемой ткани, от числа используемых ремизок и порядковых номеров их расположения в заправке станка, от степени разнонатянутости основных нитей в верхней и нижней частях зева и от других факторов.

Проведем аналогичный анализ суммарных технологических нагрузок со стороны основных нитей на ремизки зевообразовательного механизма для условий образования на ткацком станке нечистого зева.

На рисунке 1 представлена схема нечистого зева. При использовании такого зева на ткацком станке основные нити, заправленные в разные ремизки, при зевообразовании будут иметь одинаковые перемещения \boldsymbol{h}_{ei} в верхней части зева и одинаковые перемещения \boldsymbol{h}_{ni} в нижней части зева от линии заступа \boldsymbol{Ox} (\boldsymbol{i} – порядковые номера используемых в заправке ремизок, счет ремизок – по ходу движения основных нитей на ткацком станке). Линия заступа \boldsymbol{Ox} проходит от опушки ткани \boldsymbol{O} через середины глазков галев в фазе заступа, когда ремизки находятся на среднем уровне.

Если при этом высота зева у каждой ремизки $m{h}_{s(n)i}$ независимо от их количества и порядковых номеров в заправке станка равна высоте зева у первой ремизки зевообразовательного механизма $m{h}_{s(n)i}$, то такой зев можно считать нечистым зевом с постоянной высотой.

Углы зевов в верхней части $oldsymbol{eta}_{si}$ и в нижней части $oldsymbol{eta}_{ni}$ из нитей, заправленных в разные ремизки, будут различными. Минимальные значения этих углов в фазе полного раскрытия будут



определяться положениями основных нитей в наиболее удаленной от опушки ткани ремизке. Например, если в заправке станка находятся восемь ремизок от первой до восьмой (n=8, i=1-8), то минимальные углы зева будут определяться высотами зева h_{e1} и h_{n1} из основных нитей первой ремизки. Все другие углы β_{ei} и β_{ni} , образованные второй и последующими ремизками, в верхней и нижней частях зева будут больше, они будут увеличиваться по мере перехода от первой ремизки к последующим ремизкам. При зевообразовании деформации и натяжения основных нитей, заправленных в разные ремизки, будут разными.

Аналогичное соотношение деформаций и натяжений основных нитей, а также углов зева будет сохраняться и в тех случаях, когда в заправке станка будет использоваться любое другое число ремизок (первых, промежуточных или последних) с высотами их зевов, равными высотам зева у первой ремизки зевообразовательного

механизма h_{at} и h_{ut} .

Если же в заправке ткацкого станка используются промежуточные или последние ремизки, кроме первой (n = 8, i < 8), то высоты зевов каждой ремизки также будут одинаковыми между собой, но они могут быть уменьшены по сравнению с высотой верхнего (нижнего) зева первой ремизки зевообразовательного механизма $oldsymbol{h}_{g(\mu)oldsymbol{l}}$, то есть может быть применен нечистый зев с переменной высотой. Степень уменьшения высоты зева зависит от количества ремизок (от переплетения ткани) и от их порядковых номеров в заправке. При этом с целью минимизации деформации и натяжения основных нитей при нечистом зеве с переменной высотой целесообразно использовать последние ремизки в отличие от нечистого зева с постоянной высотой.

Например, если в заправке станка из восьми ремизок (n = 8) используются только четыре ремизки от пятой до восьмой (i = 5-8), то высота верхнего (нижнего) зевов у этих ремизок мо-

жет быть уменьшена с $h_{s(n)1}$ до $h_{s(n)5-8}$. Соответственно меньше будут деформация и натяжение основных нитей при зевообразовании. При этом изменятся и соотношения углов зевов разных ремизок в их верхней (нижней) частях. В этом случае для определения минимальных и максимальных значений углов верхней (нижней) частей зева можно записать

$$\beta_{e(n)min} = arctg\left(\frac{h_{e(n)i-8}}{l_{1i}}\right), \quad \beta_{e(n)max} = arctg\left(\frac{h_{e(n)i-8}}{l_{18}}\right), (1)$$

где $m{l}_{Ii}$ – длина передней части зева из нитей $m{i}$ -й ремизки, $m{l}_{I8}$ – длина передней части зева из нитей восьмой ремизки.

Таким образом, при применении нечистого зева с переменной высотой на ткацком станке с зевообразовательным механизмом на восемь ремизок (n = 8) возможны следующие варианты заправок основных нитей, приведенные в таблице 1.

Расчеты средних суммарных технологических нагрузок на ремизку зевообразовательного механизма за цикл зевообразования $F_{cp,ij}$ проводились по методике [8] для условий применения на ткацком станке нечистого зева с постоянной и с переменной высотой при аналогичных исходных данных: $l_{11}=224$ мм, $l_{21}=300$ мм, L=524 мм, $K_3=40$ с H/μ , $C_o=15$ сH/mм, $C_T=20$ сH/mм, $h_{s1}=h_{n1}=52$,8 мм. Расчеты выполнены для различных переплетений тканей при различных смещениях V_B ламельного прибора по высоте относительно линии Ox.

Если для выработки ткани требовались не все ремизки на станке, то расчеты проводились для двух вариантов: с применением в заправке необходимого числа первых ремизок и с применением последних ремизок. При этом для нечистого зева с постоянной высотой все ремизки создавали одинаковую высоту зева, равную высоте зева у первой ремизки зевообразовательного механизма $\boldsymbol{h}_{s(n)i} = \boldsymbol{h}\boldsymbol{s}_{(n)i}$. Для нечистого зева с переменной высотой разные ремизки создавали разную высоту зева $\boldsymbol{h}_{s(n)i-8}$.

Результаты расчетов средних суммарных технологических нагрузок для нечистого зева с постоянной высотой представлены на рисунке 2 (при использовании в заправке станка первых ремизок) и на рисунке 3 (при использовании последних ремизок). Номера линий на рисунках 2 и 3 аналогичным [8] образом соответствуют следующим переплетениям ткани.

Линии 1, 2 и 3 соответствуют полотняному переплетению ткани при заправке основных нитей соответственно на две, четыре и шесть ремизок. Линии 4 – саржа 1/2, линии 5 – саржа 1/3 и четырехнитный сатин, линии 6 – саржа 1/4 и пятиремизный сатин, линии 7 – восьмиремизный сатин, линии 8 – восьмиремизный атлас, линии 9 – пятиремизный атлас.

Анализ рисунков 2 и 3 показывает, что при использовании на ткацком станке нечистого зева с постоянной высотой средние суммарные технологические нагрузки зависят от аналогичных факторов, как и при чистом зеве [8]. Однако при этом имеются следующие отличия в величине и характере изменений технологических нагрузок.

Таблица 1 – Варианты заправок основных нитей

Номера № ремизок в заправке Высота зева в ремизках			Формулы для определения min углов зева	Формулы для определения max углов зева		
1	1-8	$h_{g(n)1-8}$	$\beta_{e(n)min} = arctg(h_{e(n)I-8}/l_{11})$	$\beta_{s(n)max} = arctg(h_{s(n)I-8}/l_{18})$		
2	2-8	$h_{_{6(n)2-8}}$	$\beta_{_{6(n)min}} = arctg(h_{_{6(n)2-8}}/l_{_{12}})$	$\beta_{g(n)max} = arctg(h_{g(n)2-8}/l_{18})$		
3	3-8	$h_{e(n)3-8}$	$\beta_{s(u)min} = arctg(h_{s(u)3-8}/l_{13})$	$\beta_{s(n)max} = arctg(h_{s(n)3-8}/l_{18})$		
4	4-8	$h_{_{6(n)4-8}}$	$\beta_{s(u)min} = arctg(h_{s(u)4-8}/l_{14})$	$\beta_{g(n)max} = arctg(h_{g(n)4-8}/l_{18})$		
5	5-8	$h_{g(n)5-8}$	$\beta_{_{6(n)min}} = arctg(h_{_{6(n)5-8}}/l_{_{15}})$	$\beta_{g(n)max} = arctg(h_{g(n)5-8}/l_{18})$		
6	6-8	$h_{e(n)6-8}$	$\beta s_{(n)min} = arctg(h_{s(n)6-8}/l_{16})$	$\beta_{g(n)max} = arctg(h_{g(n)6-8}/l_{18})$		
7	7–8	$h_{g(n)7-8}$	$\beta_{s(u)min} = arctg(h_{s(u)7-8}/l_{17})$	$\beta_{s(n)max} = arctg(h_{s(n)7-8}/l_{18})$		

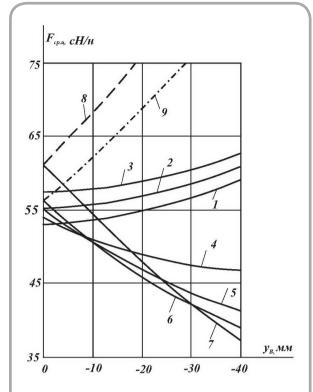


Рисунок 2 – Нагрузки при нечистом зеве с постоянной высотой и первыми ремизками

Величина средних суммарных технологических нагрузок при нечистом зеве с постоянной высотой больше, чем при чистом зеве, особенно с применением в заправке станка последних ремизок. По мере перехода от первых к последующим ремизкам суммарные технологические нагрузки при нечистом зеве увеличиваются, а при чистом зеве – уменьшаются.

Выполнены также расчеты средних суммарных технологических нагрузок при использовании на ткацком станке нечистого зева с переменной высотой зева для тех же видов переплетений с использованием в заправке последних ремизок.

Результаты расчетов представлены на рисунке 4. Номера линий на рисунке 4 соответствуют тем же переплетениям ткани, что и на рисунках 2 и 3.

Анализ рисунка 4 позволяет сделать вывод о том, что использование в заправке ткацкого станка последних ремизок с переменной высотой нечистого зева $\boldsymbol{h}_{s(u)i-8}$ позволяет существенно снизить средние суммарные технологические

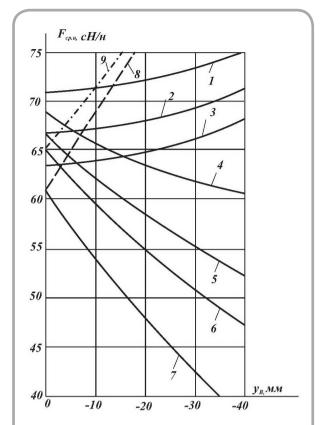
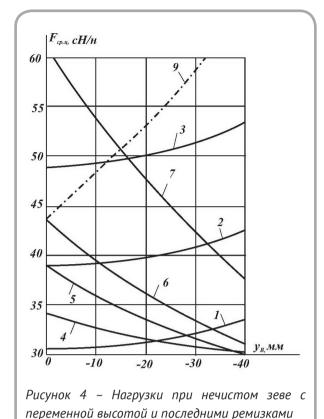


Рисунок 3 – Нагрузки при нечистом зеве с постоянной высотой и последними ремизками

нагрузки по сравнению с использованием нечистого зева с постоянной высотой зева. Это снижение будет особенно значительным при выработке тканей с малым раппортом переплетения.

Проведен аналогичный анализ технологических нагрузок при применении на ткацком станке специального зева, который в фазе полного раскрытия обеспечивает одинаковые деформации основных нитей разных ремизок, равные деформациям нитей первой ремизки зевообразовательного механизма. Для этого перемещения основных нитей разных ремизок в вертикальном направлении определялись по методике [7].

Расчеты средних суммарных технологических нагрузок при специальном зеве выполнены с теми же исходными данными и для тех же переплетений тканей, что и при нечистом зеве. Расчеты проводились также для двух вариантов: с применением в заправке необходимого числа первых ремизок и с применением последних ремизок.



Результаты расчетов представлены на рисунке 5 при первом варианте (в заправке станка первые ремизки) и на рисунке 6 при втором варианте (в заправке станка последние ремизки). Нумерация линий на этих рисунках соответствует тем же переплетениям ткани, что и на преды-

дущих рисунках.

Из анализа рисунков 5 и 6 следует, что при использовании на ткацком станке специального зева средние суммарные технологические нагрузки в расчете на одну ремизку за цикл зевообразования в фазе полного раскрытия зева зависят от тех же факторов, что и при нечистом зеве. Но величина этих нагрузок при применении специального зева меньше. Кроме того, при специальном зеве натяжения основных нитей и технологические нагрузки будут более равномерными по всем ремизкам в заправке станка.

Также выполнены расчеты средних суммарных технологических нагрузок при использовании на ткацком станке специального зева для последних ремизок в заправке станка с уменьшенной переменной высотой зева. При этом в каждом конкретном случае в качестве первой

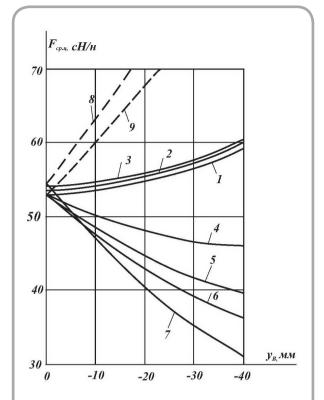


Рисунок 5 – Нагрузки при специальном зеве с первыми ремизками

ремизки принималась та ремизка, которая была первой в заправке, а не первой в зевообразовательном механизме станка. Например, при выработке ткани полотняного переплетения на четырех ремизках принимались четыре последние на станке ремизки – от пятой до восьмой, при этом в расчетах пятая ремизка станка считалась первой, а восьмая – четвертой. В данном случае высота зева первой ремизки в заправке принималась равной $\boldsymbol{h}_{a(n)5}$, а высоты зева $\boldsymbol{h}_{a(n)6}$, $\boldsymbol{h}_{a(n)7}$ и $\boldsymbol{h}_{a(n)8}$ рассчитывались по методике [7]. Расчеты проводились для условий выработки тканей тех же видов переплетений с теми же исходными данными.

Итоги расчетов представлены на рисунке 7 с аналогичными обозначениями переплетений ткани.

Анализ рисунка 7 показывает, что использование в заправке ткацкого станка специального зева с уменьшенной переменной высотой обеспечивает меньшие средние суммарные технологические нагрузки по сравнению с использованием специального зева без уменьшенной его

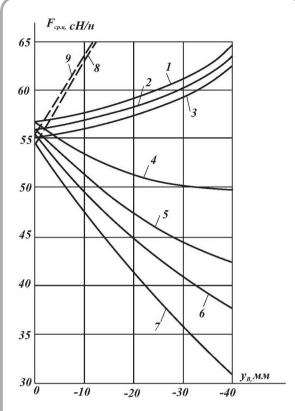


Рисунок 6 – Нагрузки при специальном зеве с последними ремизками

высоты. Степень уменьшения нагрузок зависит от количества ремизок в заправке станка.

Для сравнения на рисунке 8 представлены средние суммарные технологические нагрузки при разных видах зева (чистый [8], нечистый и специальный зевы) с различным числом последних ремизок в заправке станка. Для примера взяты переплетения тканей с минимальным, средним и максимальным раппортом: 1 - полотняное переплетение с двумя ремизками в заправке; 6 – саржа 1/4 с пятью ремизками и 7 – сатин с восемью ремизками. Здесь номера линий соответствуют номерам на предыдущих рисунках 2-7. Сплошными линиями показаны технологические нагрузки при чистом зеве, штриховыми – при нечистом зеве с переменной высотой, штрихпунктирными - при специальном зеве с переменной высотой.

Сравнительный анализ технологических нагрузок при чистом [8], нечистом и специальном зевах позволяет сделать следующие выводы.

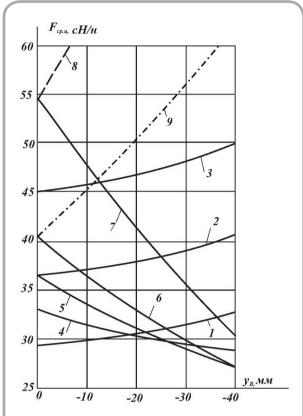


Рисунок 7 – Нагрузки при специальном зеве с переменной высотой

- 1. Средние суммарные технологические нагрузки в расчете на одну ремизку за цикл зевообразования на ткацких станках зависят от многих факторов, в том числе от вида применяемого зева, переплетения ткани, количества и порядковых номеров ремизок в заправке станка, степени разнонатянутости ветвей зева и других.
- 2. Технологические нагрузки на ткацком станке имеют наименьшую величину при применении чистого зева, но при этом наблюдается большая разница в величине натяжений и деформаций основных нитей разных ремизок. Наибольшую величину нагрузки имеют при нечистом зеве. В середине находятся технологические нагрузки при применении специального зева, но при этом разница в величине натяжений и деформаций основных нитей разных ремизок будет наименьшей, что особенно важно при производстве тканей высокого качества.
- 3. Количество и порядковые номера ремизок в заправке станка оказывают существенное влияние на величину технологических нагрузок

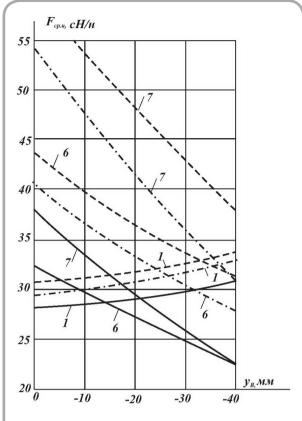


Рисунок 8 – Технологические нагрузки при различных видах зева

при применении чистого зева, а также нечистого и специального зевов с переменной высотой. Для уменьшения технологических нагрузок необходимо отдавать предпочтение последним ремизкам. При нечистом и специальном зевах с постоянной высотой это влияние незначительно.

- 4. Нечистый и специальный зевы с переменной высотой обеспечивают значительно меньшие технологические нагрузки по сравнению с нечистым и специальным зевами с постоянной высотой.
- 5. Величина технологических нагрузок зависит от расположения ламельного прибора по высоте относительно линии заступа, то есть от степени разнонатянутости верхней и нижней ветвей зева. Смещая ламельный прибор по высоте, можно оптимизировать его положение с целью снижения технологических нагрузок. Это особенно важно при выработке тканей с различным числом основных нитей в верхней и нижней частях зева.
- 6. Выбор вида зева и оптимизация его параметров позволяют уменьшить технологические нагрузки со стороны основных нитей на зевообразовательный механизм ткацкого станка с целью снижения напряженности технологического процесса ткачества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Николаев, С. Д., Власов, П. В., Сумарукова, Р. И., Юхин, С. С. (1995), *Теория процессов, технология и оборудование ткацкого производства*, Москва, Легпромбытиздат, 256 с.
- 2. Макаров, В. А., Хозина, Е. Н., Лебзак, А. В. (2004), Методика анализа законов жвижения, применяемых в приводе зевообразующих механизмов (30М) ткацкого станка, *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2004, № 5, С. 76–80.
- 3. Гаврилов, А. Н., Хозина, Е. Н., Макаров, В. А. (2015), Экспериментальное исследование зевообразовательного механизма ткацкой

REFERENCES

- 1. Nikolaev, S. D., Wlasov, P. V., Sumarukova, R. I., Juhin, S. S. (1995), *Teoriya processov, technologiya i oborudovanie tkackogo proizvodstva* [Theory of processes, technology and eguipment of the weaving production], Moscow, Legprombytizdat, 256 p.
- 2. Makarov, V. A., Khosina, Ye. N., Lebsak, A. V. (2004), Analysis method of law mowement used in the drive of the shedding mechanisms of the loom [Metodika analiza zakonov dvijeniya, primenyaemych v priwode zevoobrasujuchich mechanizmov tkackogo stanka], Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya texstilnoy promyshlennosti News of High Educational

машины типа СТБУ, Изв. вузов. Технология текстильной промышленности, 2015, № 6, C.143-149.

- 4. Гаврилов, А. Н., Хозина, Е. Н., Макаров, В. А. (2015), Взаимодействие элементов ремизки в процессе образования зева, *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2015, № 2, С. 103–108.
- 5. Хозина, Е. Н., Гаврилов, А. Н., Макаров, В. А. (2016), Назначение и основные параметры технологической оснастки для ткацких машин, *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2016, № 1, С. 147–152.
- 6. Хозина, Е. Н., Гаврилов, А. Н., Макаров, В. А. (2017), Методика расчета рабочих нагрузок в ремизе ткацкой машины, *Изв. вузов. Технология текстильной промышленности*, 2017, № 2, С. 206–211.
- 7. Башметов, В. С. (2018), Расчет технологических нагрузок на зевообразовательный механизм ткацкого станка, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 34, С. 7–11.
- 8. Башметов, В. С. (2019), Определение суммарных технологических нагрузок на ремизки ткацкого станка при зевообразовании, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2019, № 36, С. 9–12.

- *Institution. Technology of Textile Industry*, 2004, № 5, pp. 76–80.
- 3. Gavrilov, A. N., Khozina, Ye. N., Makarov, V. A. (2015), Experimental research of the shedding mechanism of the STBU type loom [Jeksperimental'noe issledovanie zevoobrazovatel'nogo mehanizma tkackoj mashiny tipa STBU], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya texstilnoy promyshlennosti − News of High Educational Institution. Technology of Textile Industry*, 2015, № 6, pp. 143−149.
- 4. Gavrilov, A. N., Khozina, Ye. N., Makarov, V. A. (2015), Interaction of the elements of harness in the shedding [Vzaimodeystviye elementov remizki v protsesse obrazovaniya zeva], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya texstilnoy promyshlennosti − News of High Educational Institution. Technology of Textile Industry*, 2015, № 2, pp. 103–108.
- 5. Khozina, Ye. N., Gavrilov, A. N., Makarov, V. A. (2016), Purpose and main parameters of technological equipment for looms [Naznachenie i osnovnye parametry tehnologicheskoj osnastki dlja tkackih stankov], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya texstilnoy promyshlennosti News of High Educational Institution. Technology of Textile Industry*, 2016, № 1, pp. 147–152.
- 6. Khozina, Ye. N., Gavrilov, A. N., Makarov, V. A. (2017), Method of the calculation the operating load in heald of weaving loom [Metodika rascheta rabochih nagruzok v remize tkatskoy mashinyi], *Izvestiya visshih uchebnih zavedenij. Tehnologiya tekstilnoy promyishlennosti − News of High Educational Institutions. Technology of Textile Industry*, 2017, № 2, pp. 206–211.
- 7. Bashmetau, V. S. (2018), Calculation of Nechnological Loads on the Heald Motion [Raschet technologicheskich nagrusok na zevoobrazovatelnyi mechanism tkatskogo stanka], Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta Vestnik of

Vitebsk State Technological University, 2018, N° 34, pp. 7–11.

8. Bashmetau, V. S. (2019), Determination of the total technological loads on the loom healds during shedding [Opredelenie summarnyh technologicheskich nagrusok na remiski tkatskogo stanka pri zevoobrazovanii], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2019, № 36, pp. 9–12.

Статья поступила в редакцию 15. 03. 2022 г.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ТЕОРИИ БАЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ОРИЕНТАЦИИ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПРИ ИХ АДДИТИВНОМ СИНТЕЗЕ НА 3D-ПРИНТЕРАХ

PRACTICAL APPLICATION OF BASING THEORY FOR ORIENTATIONS OF MODELS OF MACHINE PARTS IN THEIR ADDITIVE SYNTHESIS ON 3D PRINTERS

УДК 658.512

Н.В. Беляков¹*, Н.Н. Попок², Д.А. Яснев¹

- ¹ Витебский государственный технологический университет
- ² Полоцкий государственный университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-19-34 **N. Belyakov¹*, N. Popok², D. Yasnev¹**

- ¹ Vitebsk State Technological University
- ² Polotsk State University

РЕФЕРАТ

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, СЛАЙСЕР, 3D-ПЕЧАТЬ, 3D-ПРИНТЕР, БАЗИРОВАНИЕ, ДОПУСК ВЗАИМНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ, ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ, ПОГРЕШНОСТЬ, ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА, МАШИНОСТРОЕНИЕ

Цель работы – разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения базирования моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров на основе анализа их геометрической точности для обеспечения заданных чертежом допусков взаимного расположения поверхностей.

Для исследования и решения, поставленных в работе задач, использовались методы теории базирования, теории автоматизации проектирования, системно-структурного анализа и моделирования.

Предложена система терминов проектного базирования при аддитивном синтезе, которая за счет определения понятий геометрической модели детали, приоритетного допуска, состава и комплекта баз, схемы базирования позволила предложить последовательность процедур базирования (ориентации) моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров. Последовательность процедур включает: определение и индентификацию возможных составов баз ориентации поверхностей, определение параметров геометрической точности 3D-принтера, формирование базовой системы координат (за счет наложения на модель геометрических связей) и ее привязку к

ABSTRACT

ADDITIVE TECHNOLOGIES, SLICER, 3D PRINTING, 3D PRINTER, BASING, START-UP OF MUTUAL ARRANGEMENT, ERROR, GEOMETRIC ACCURACY, PRODUCTION PREPARATION, MECHANICAL ENGINEERING

On the basis of the formulated concepts of designbased additive synthesis, methodological, algorithmic and software for basing (orientation) of models of machine parts in the working area of a 3D printer is presented, the essence of which is the sequential determination and identification of possible compositions of surface orientation bases, determining the parameters of geometric accuracy of a 3D printer, the formation of a basic coordinate system (by superimposing geometric connections on the model) and its binding to the coordinate system of a 3D printer.

With the help of the software, it is possible, as early as at the design stage, to predict the accuracy of the tolerances of the relative position of surfaces in 3D printing and to recommend options for basing models of parts in the working area of a 3D printer based on an analysis of its geometric accuracy to ensure these tolerances.

These applications can be used by design departments of enterprises where 3D printers are used, by IT companies for creating and improving slicer programs, by educational institutions for training specialists in the field of manufacturing products based on three-dimensional technologies.

^{*} E-mail: nikolay_belyakov@mail.ru (N. Belyakov)

вестник витебского государственного технологического университета, 2022, № 1 (42)

системе координат 3D-принтера и уже на стадии проектирования дает возможность оценить достижимость заданных чертежом допусков взаимного расположения поверхностей, а также рекомендовать варианты ориентации модели детали в рабочей зоне 3D-принтера для обеспечения допусков взаимного расположения.

Представление описанной методики на языке теории автоматизации проектирования, алгебры логики и теории алгоритмов дало возможность создать программное обеспечение, позволяющее прогнозировать обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей при 3D-печати, рекомендовать варианты базирования моделей деталей в рабочей зоне 3D-принтера на основе анализа его геометрической точности для обеспечения допусков взаимного расположения и, как следствие, снизить вероятность печати бракованных деталей.

Разработки могут использоваться в: проектных бюро предприятий, использующих 3D-принтеры; IT-компаниях для создания и совершенствования программ-слайсеров; учебном процессе для подготовки специалистов в области производства изделий на основе трёхмерных технологий.

введение

Развитие современного машиностроительного производства осуществляется в условиях эпохи четвертой индустриальной революции (Индустрия 4.0). Индустрия 4.0 характеризуется внедрением в производство киберфизических систем, автоматизацией процессов проектирования и изготовления изделий, гибкостью производства, кастомизацией продукции, развитием аддитивных технологий.

Аддитивные технологии в машиностроении находят применение для: 1) прототипирования изделий (оценка эргономических качеств изделия; проверка собираемости и правильности компоновочных решений; гидроаэродинамические и другие испытания; предварительная проверка функциональности; дизайнерские модели с различными нюансами в конфигурации, цветовой гамме раскраски и т. д.); 2) литейного производства (создание литейных моделей, ли-

тейных форм и другой модельной оснастки); 3) производства деталей машин.

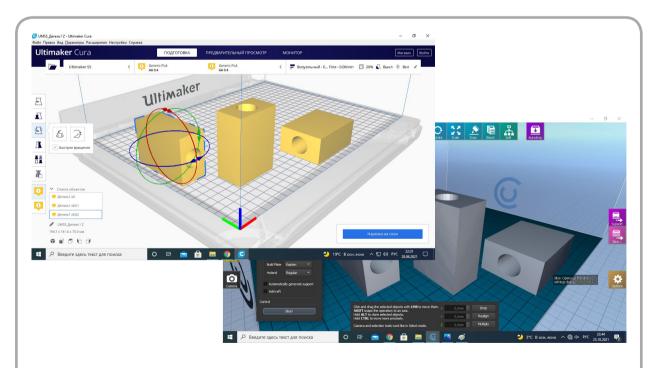
Наибольшее распространение для этого нашли следующие технологии: FDM (послойное наложение расплавляемых нитевидных полимеров); SLA (отверждение слоя фотополимера посредством лазерного луча); SLS, DMF, SLM (послойное лазерное спекание (плавление) порошковых материалов (полимеров или металлопорошковых композиций); DLP (засветка слоя фотополимера цифровым прожектором); Poly-Jet (отверждение слоя фотополимера ультрафиолетовой лампой); Ink-Jet (отверждение слоя порошкового материала путем нанесения связующего состава через многосопловую головку). Все перечисленные технологии реализуются с помощью 3D-принтеров, основными узлами которых являются рамы, механизмы перемещения (двигатели и направляющие), слоеформирующие элементы (экструдеры, лазеры, головки, лампы, прожекторы), рабочие платформы, электроника [1-3].

Для аддитивного синтеза детали на 3D-принтере по всем технологиям вначале с помощью CAD-системы формируется ее трехмерная модель. После этого модель преобразуется в формат, подходящий для печати (для большинства 3D-принтеров это формат STL). Далее с помощью программ-слайсеров (UltimakerCura, 3DPrinterOS, Astroprint, IceSL, ideaMaker, KISSlicer, MakerBotPrint, MatterControl, NetfabStandart, SelfCAD, Octoprint, Repetier, Slicer-Crafter, TinkerineSuite, Simplify3D, Slic3r, Craftware и др.) модель разбивается на 2D-слои и формирует G-код [4-5].

Работа во всех слайсерах организована таким образом, что пользователю необходимо ввести информацию в ряде блоков настроек: 1) настройки программы (выбор языка, единиц измерения, расширенные функции, цветовое оформление, параметры отображения, информационные вкладки); 2) подключение принтера (выбор марки и модели, управление действиями экструдера, установка температуры и скорости, указание количества печатающих головок); 3)

выбор филамента и вида материала; 4) работа с моделью (ориентирование, масштабирование, модификация, анализ); 5) параметры слайсинга (порядок разбиения на слои, поддержки, стенки и др.); 6) дополнительные установки (включение паузы для смены филамента, холостые передвижения и прочие).

В блоке «Работа с моделью» пользователю необходимо произвести ориентирование (базирование) модели детали в рабочей зоне принтера (рисунок 1). Эта процедура осуществляется пользователем на основе собственного опыта и интуиции. В литературных источниках лишь приводится ряд (иногда исключающих друг друга) рекомендаций общего характера: расположение детали влияет на количество поддержек (расход материала и стоимость изделия); если габаритные размеры модели больше габаритных размеров рабочей зоны принтера по трем осям, то следует проверить возможность размещения модели в рабочей зоне по диагонали; цилиндры печатаются быстрее, если они расположены в рабочей зоне горизонтально; цилиндры печатаются качественнее, если они расположены в рабочей зоне вертикально; при ориентации сле-



 $Pucyнok\,1$ – Базирование детали в рабочей зоне 3D-принтера с помощью программ-слайсеров UltimakerCura и Craftware

дует учитывать условия работы детали при эксплуатации в связи с анизотропией напечатанной детали и др. [6–10].

В опубликованных работах также приводятся результаты экспериментальных исследований влияния параметров печати на точность изделий [8–10]. Для этого на конкретном 3D-принтере распечатывались опытные детали, производились исследования их точностных параметров и делались выводы о необходимости использования полученных данных для прогнозирования точности последующей печати. Вопросы влияния различной ориентации детали в рабочей зоне 3D-принтера на обеспечение точности допусков взаимного расположения с учетом параметров геометрической точности принтера не рассматривались.

Точность размеров и допусков взаимного расположения поверхностей являются важнейшими параметрами качества деталей машин. В аддитивном производстве при 3D-печати точностные параметры деталей обуславливаются рядом факторов, таких как: 1) технология печати; 2) применяемый для печати материал; 3) толщина слоя печати (разрешение); 4) конструкция поддержек; 5) температурные деформации материала в процессе затвердения; 6) компоновочная схема принтера; 7) жесткость и точность изготовления деталей принтера; 8) качество сборки и калибровки принтера; 9) конструкция и точность механических передач и приводов (точность перемещения слоеформирующих элементов); 10) конструкция и ориентация направляющих; 11) ориентация модели детали при печати и др. [8-10].

Факторы в пунктах 6–11 оказывают особое влияние на взаимное расположение слоев при печати и, как следствие, на обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей. Если допуски взаимного расположения не обеспечены, то деталь неизбежно перейдет в неустранимый брак. Задачи обеспечения точности допусков взаимного расположения поверхностей деталей машин в аддитивном производстве должны решаться уже на этапе базирования (ориентации) модели детали в рабочей зоне принтера с помощью программ-слайсеров за счет правильного выбора баз с учетом геометрической точности принтера.

Таким образом, целью работы является разработка методического, алгоритмического и программного обеспечения базирования моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров на основе анализа их геометрической точности для обеспечения заданных чертежом допусков взаимного расположения поверхностей.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи: проведен анализ современных подходов к теории базирования, а также предложен ряд терминов проектного базирования при аддитивном синтезе; разработано методическое и алгоритмическое обеспечение процедуры базирования моделей деталей машин в рабочей зоне 3Dпринтеров; разработан алгоритм функционирования и общая структура программного обеспечения по базированию моделей деталей машин в рабочей зоне 3D-принтеров; определена конфигурация технических средств; разработано программное обеспечение и проведены его комплексная отладка и предварительные испытания; разработаны программные документы; проведена опытная эксплуатация системы.

Для исследования и решения поставленных в работе задач использовались методы теории базирования, теории автоматизации проектирования, системно-структурного анализа и моделирования.

Результаты исследований

Анализ современных подходов к теории базирования [11-18] позволил уточнить ряд терминов проектного базирования для аддитивного синтеза и предложить следующую последовательность процедур для проектного базирования модели детали в рабочей зоне 3D-принтера: 1) синтез геометрической модели детали (ГМД); 2) определение составов баз ориентации; 3) идентификация состава баз ориентации; 4) определение приоритета в обеспечении допуска взаимного расположения; 5) синтез схемы базирования (определение комплектов баз); 6) определение компоновочно-кинематической схемы и задание системы координат 3Dпринтера; 7) определение достижимой геометрической точности 3D-принтера; 8) определение ориентации модели детали в рабочей зоне 3Dпринтера.

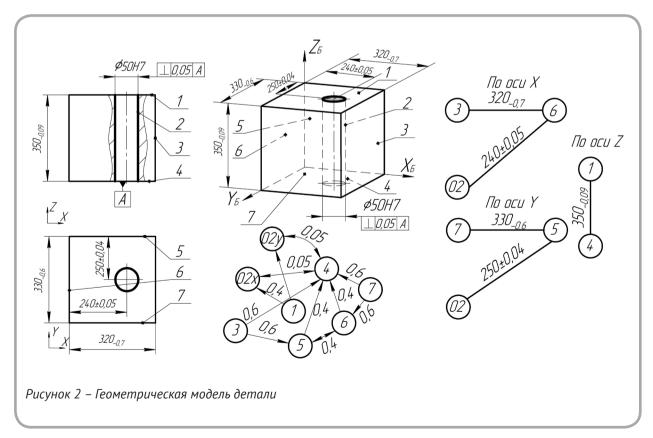
Процедура 1. Под ГМД будем понимать модель, отражающую поверхности (в том числе плоскости, оси и точки симметрии) и их расположение с помощью размерных связей (линейных и угловых) и допусков взаимного расположения согласно простановке на чертеже детали или исходной заготовки (графов линейных размерных связей (по трем осям) и угловых расположений). Модель представляет собой абсолютно твердое тело, в котором все поверхности идеальны (не имеют погрешностей формы и микронеровностей). ГМД строится на основе чертежа детали.

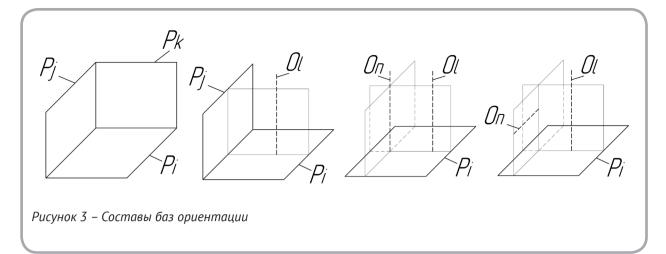
Для построения ГМД (рисунок 2) необходимо: построить контурное изображение (или трехмерную модель) ГМД; произвести нумерацию поверхностей; проставить размерные связи и допуски взаимного расположения поверхностей согласно чертежу; построить графы линейных размерных связей и угловых расположений поверхностей [17–18].

Процедура 2. Состав баз ориентации – совокупность поверхностей (в общем случае плоскостей и (или) осей) ГМД, по отношению к которой однозначно и корректно может быть задана ориентация рассматриваемой поверхности (совокупности поверхностей) и проведена система координат. Возможно четыре варианта составов баз (рисунок 3, P – плоскость, O – ось).

Формальное выявление возможных составов баз ориентации (для рассматриваемой оси или плоскости) предлагается осуществлять с помощью совместного анализа графов размерных и угловых связей. Для этого номер рассматриваемой поверхности (ее оси или плоскости) отыскивается на графе линейных размерных связей (по одной оси для рассматриваемой плоской поверхности, по двум – для рассматриваемой оси). Определяется ее связь или связи с другими ближайшими поверхностями на графах размерных связей (кратчайшие пути на графе от рассматриваемой поверхности до других поверхностей). Далее для плоских поверхностей на графах угловых расположений состав дополняется двумя поверхностями, для оси – одной.

Так, для плоскости 1 из графа линейных связей по \mathbf{Z} отбирается поверхность 4, а с помощью графа угловых расположений состав формируется с помощью поверхностей $\mathbf{o2}_x$ и $\mathbf{o2}_y$. Для оси $\mathbf{o2}$ из графов линейных связей по \mathbf{X} и \mathbf{Y} отбираются поверхности 5 и 6, а с помощью графа





угловых расположений состав формируется с помощью поверхности 4 (таблица 1).

Процедура 3.Для определения принадлежности (идентификации) сформированных составов баз к одному из описанных выше определяется вид (ось или плоскость) каждой из поверхностей таблицы составов баз. Так, для поверхности 1 сформирован состав $\mathbf{4}$ - $\mathbf{o2}_x$ - $\mathbf{o2}_y$ – три плоскости, две из которых проходят через ось (иначе две плоскости и ось (состав \mathbb{N}^2 2), для \mathbf{o}_2 сформирован состав $\mathbf{5}$ - $\mathbf{6}$ - $\mathbf{4}$ – три взаимно перпендикуляр-

Таблица 2 – Определение удельных допусков

ные плоскости (состав № 1) и т. д.

Процедура 4. Определение приоритета в обеспечении допуска взаимного расположения предлагается осуществлять ранжированием численных значений допусков по компонентам состава баз, приведением к одной базовой длине (определение удельного допуска) и последующего определения главной базы (в зависимости от этого значения) (таблица 2).

Согласно таблице 2 для рассматриваемого примера приоритетным является допуск пер-

Таблица 1 – Составы баз ориентации для рассматриваемой детали							
1	o2	5	6	7			
4-02 _x -02 _y	5-6-4	6-4-5	1-02 _x -02 _y	$7-4-6 \ o2_y-4-6$	o2 _x -4-5 3-4-5	5-4-6	

Tabliada 2 Cripocononao yoonanan conyonoo							
Попорушести	Состав баз	Допу	ск	Длина	Удельный допуск		
Поверхность		Наименование	Значение		(на длине 1000 <i>мм</i>)		
	5	Размер	0,08	350	0,229		
o2	6	Размер	0,1	350	0,286		
	4	Т	0,05	350	0,143		
	•••						
	4	Т	0,4	350	1,143		
5	6	Т	0,4	320	1,250		
	7	Размер	0,6	350	1,714		

пендикулярности поверхности o2 относительно поверхности 4. Поверхность 4 – главная база.

Процедура 5. Под схемой базирования при аддитивном синтезе предлагается понимать графическое изображение ГМД, на которой: 1) выделены поверхности (совокупности поверхностей) с приоритетным допуском взаимного расположения; 2) проставлены размерные связи и допуски взаимного расположения; 3) обозначен комплект технологических баз; 4) проведена базовая (собственная) система координат.

Технологической базой при аддитивном синтезе будем считать поверхность (или сочетание поверхностей) ГМД, по отношению к которой(ому) задается ориентация поверхности (совокупности поверхностей) с приоритетным допуском взаимного расположения, накладывающая на ГМД определенные геометрические связи и идентифицирующая(ее) одну из плоскостей или(и) осей базовой системы координат. Комплект технологических баз – совокупность

технологических баз, полностью идентифицирующих состав баз ориентации и накладывающих на ГМД 6 геометрических связей относительно осей базовой системы координат. Элементами комплекта являются: тройная однонаправленная (установочная) технологическая база – 3 связи (определенность углового расположения относительно двух осей и линейного относительно третьей); двойная однонаправленная (направляющая) - 2 связи (определенность углового положения относительно одной и линейного относительно другой) и т. д. Технологические базы могут сочетаться между собой в комплект девятью различными способами [18]. Комплект баз на схеме базирования обозначается условными значками, интерпретирующими связи и их направления (рисунок 4).

Для синтеза схемы базирования модернизирован массив продукционных моделей, соответствующих вариантам однозначного задания ориентации поверхности [17–18]. Так, для со-

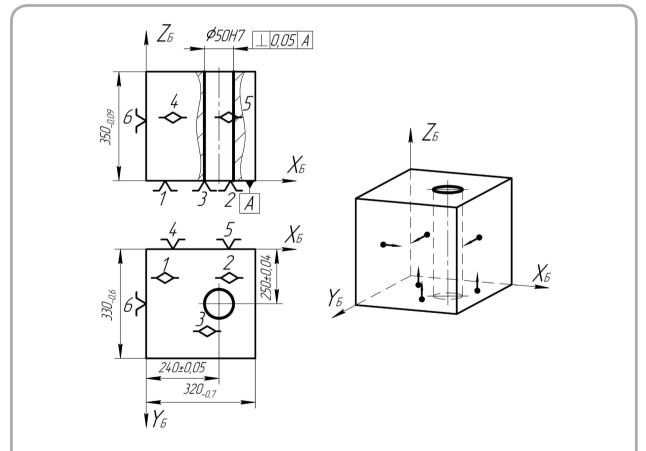


Рисунок 4 – Схема базирования и модель расположения геометрических связей с их направлениями

става баз ориентации № 1 алгоритм O_{10} гласит: если приоритетным является допуск перпендикулярности оси O_{10} относительно плоскости P_i , а допуск линейного размера относительно $P_{j(k)}$ меньше допуска линейного размера относительно $P_{k(j)}$, то плоскость P_i назначается тройной однонаправленной (установочной) базой, плоскость $P_{j(k)}$ – двойной однонаправленной (направляющей), плоскость $P_{k(j)}$ – одиночной (опорной). Аналогично определяются компоненты комплекта, если задан допуск перпендикулярности относительно плоскости P_j либо плоскости P_k (рисунок 4).

Процедура 6. Компоновочно-кинематические схемы и системы координат 3D-принтера определяют методику анализа точности перемещений и ориентацию базовой системы координат детали в системе координат принтера. На рисунке 5 приведены элементы разработанного классификатора компоновочно-кинематических схем FDM принтеров.

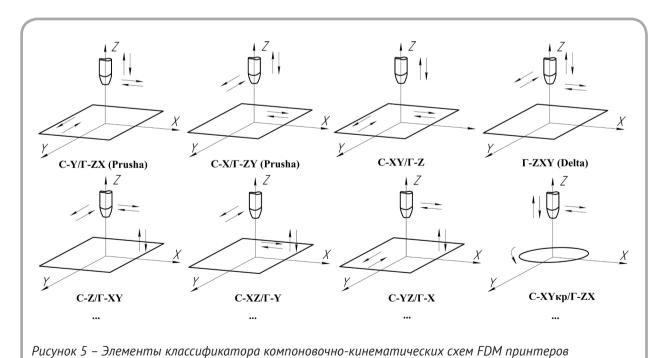
Процедура 7. Для определения геометрической точности 3D-принтера в задаче базирования необходимо оценить параллельность перемещений слоеобразующего элемента по трем осям в двух направлениях для каждой оси (для оси \boldsymbol{X} в плоскостях \boldsymbol{XZ} и \boldsymbol{XY} ,для \boldsymbol{Y} в плоскостях

YZ и YX, для Z в плоскостях ZY и ZX).

Указанная процедура может быть реализована двумя способами: 1) оценка по паспортным данным 3D-принтера или согласно ГОСТ 22267 «Станки металлорежущие. Схемы и способы измерения геометрических параметров» (при этом индикаторная головка устанавливается на место слоеобразующего элемента); 2) печать на 3D-принтере опытных деталей, измерение на координатно-измерительной машине соответствующих параметров по трем осям в двух направлениях и пересчет на габариты рабочей зоны.

Недостатками первого способа является невозможность учета влияния температурных деформаций и других свойств материалов, а также (в случае отсутствия паспортных данных по геометрической точности 3D-принтера) необходимость изготовления специальной оснастки для крепления и ориентации индикатора. Недостатками второго способа является косвенность измерения, необходимость использования дорогостоящих средств измерения и расходование материалов.

Процедура 8. Ориентацию модели детали в рабочей зоне принтера предлагается осуществлять за счет ориентации базовой системы



ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2022, № 1 (42)

координат (сформированной в результате реализации процедуры 5) в системе координат принтера. Для этого вначале необходимо поверхность главной базы (или сочетание главной базы с другими базами, обеспечивающими приоритетный допуск взаимного расположения) комплекта разместить в определенной плоскости (оси) системы координат принтера.

Так, на рисунке 6 приведены варианты возможной ориентации установочной базы рассматриваемой ГМД (рисунок 4) в плоскости системы координат 3D-принтера.

Анализ ориентаций рассматриваемых поверхностей в составах баз, а также правил определения комплектов баз позволил установить следующие главные базы и сочетания главной базы с другими базами, обеспечивающие приоритетный допуск взаимного расположения: тройная однонаправленная (установочная); четверная (двойная направляющая); четверная (двойная направляющая) в сочетании с одиночной (опорной); тройная разнонаправленная (тройная опорная) в сочетании с двойной однонаправленной (направляющей).

Перечисленные главные базы и сочетания главной базы с другими базами обеспечивают следующие приоритетные допуски взаимного расположения: перпендикулярность оси относительно плоскости; перпендикулярность плоскости относительно плоскости; угол плоскости относительно плоскости; параллельность (соосность) оси относительно оси; параллельность плоскости относительно оси; параллельность плоскости относительно оси; параллельность плоскости относительно

носительно плоскости; перпендикулярность оси относительно оси; угол оси относительно оси.

Пусть необходимо найти ориентацию тройной однонаправленной (установочной) базы, обеспечивающей приоритетную перпендикулярность оси относительно плоскости в системе координат принтера с точностью перемещений по направляющим (линейного позиционирования) по осям T_x, T_y, T_z . В случае геометрической погрешности плоскости XOY, в которой может размещаться тройная однонаправленная (установочная) база на угл a_{xz} или a_{yz} (или одновременно на углы a_{xz} или a_{yz}), приоритетный допуск перпендикулярности T может быть обеспечен только на длине L_x (рисунок 7 a, a и a):

$$L_{1xz} = \frac{T - T_x}{tg \alpha_{xz}}, L_{1yz} = \frac{T - T_y}{tg \alpha_{yz}},$$
 (1)

где a_{xz} и a_{yz} – углы наклона направляющих, которые могут быть определены по геометрической точности принтера в заданном координатном направлении (процедура 7).

Также возможен случай «наложения» геометрической погрешности расположения направляющих по осям X и Z от (рисунок 7 \imath) или Y и Z, что уменьшает область обеспечения допуска перпендикулярности в заданном координатном направлении. И наоборот, возможен случай компенсации погрешностей (в том случае, если по осям X и Z (или Y и Z) имеется геометрическая погрешность направляющих в противопо-

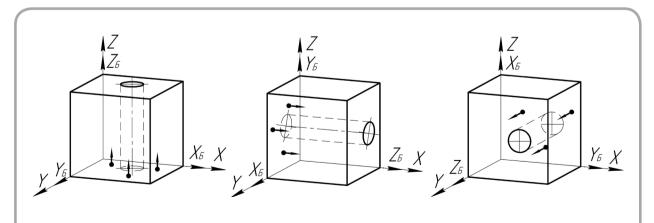


Рисунок 6 – Возможные варианты размещения установочной базы в системе координат принтера

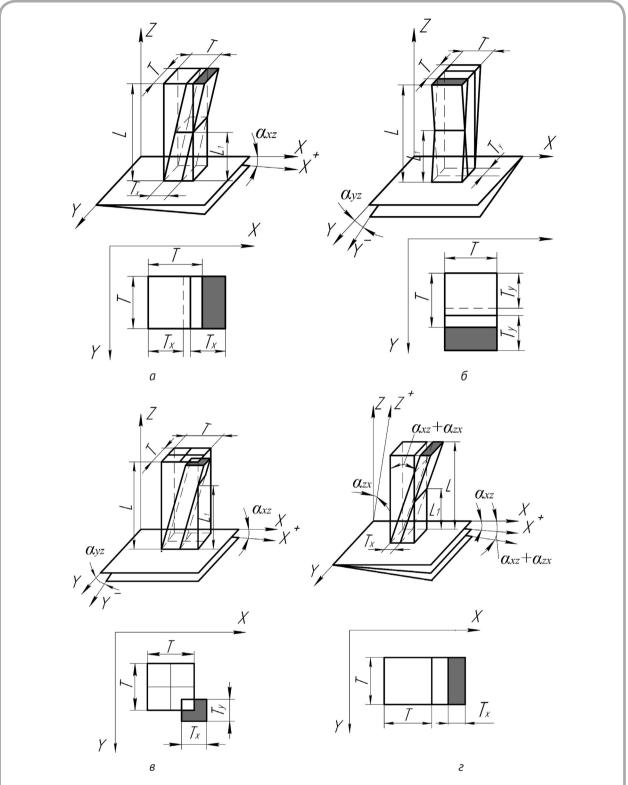


Рисунок 7 – Некоторые варианты размещения полей допусков T_x и T_y в поле допуска T перпендикулярности оси в зависимости от геометрической точности принтера: a – непараллельность по оси X в плоскости XOZ; b – непараллельность по оси y в плоскости yOZ; b – суммарная погрешность по осям yOZ и yOZ; b – суммарная погрешность по осям yOZ и yOZ и yOZ г – суммарная погрешность по осям yOZ в плоскости yOZ

ложных угловых направлениях).

На рисунке 7 прямоугольниками показаны области полей допусков T и T_x в плоскости длины рассматриваемого элемента. В том случае, если квадрат поля допуска T не пересекается с прямоугольником точности позиционирования $T_{x(y)}$, то допуск обеспечить на всей длине невозможно. В случае частичного пересечения указанных полей допусков можно говорить о вероятности обеспечения допуска. Таким образом появляется возможность прогнозирования точности взаимного расположения поверхностей на длине, а также рекомендовать углы поворота модели для обеспечения допусков.

Анализ обеспечения допуска перпендикулярности в случае параллельности рассматриваемой оси \mathbf{Z} сводится к проверке условий:

$$T \geq T_{x}, T \geq T_{y}, L \leq L_{1x^{\pm}z^{\pm}}, L \leq L_{1y^{\pm}z^{\pm}}, \text{ (2)}$$

где

$$\begin{split} L_{1x^{+}z^{\pm}} &= \frac{T - T_{x}}{tg\left(\left|\pm\alpha_{xz} \pm \alpha_{zx}\right|\right)}, \\ L_{1x^{+}z^{+}} &= \frac{T - T_{x}}{tg\left(\alpha_{xz} + \alpha_{zx}\right)}, L_{1x^{+}z^{-}} = \frac{T - T_{x}}{tg\left(\left|\alpha_{xz} - \alpha_{zx}\right|\right)}, \\ L_{1x^{-}z^{+}} &= \frac{T - T_{x}}{tg\left(\left|-\alpha_{xz} + \alpha_{zx}\right|\right)}, L_{1x^{-}z^{-}} = \frac{T - T_{x}}{tg\left(\left|-\alpha_{xz} - \alpha_{zx}\right|\right)}, \\ L_{1y^{\pm}z^{\pm}} &= \frac{T - T_{y}}{tg\left(\left|\pm\alpha_{yz} \pm \alpha_{zy}\right|\right)}, \\ L_{1y^{+}z^{+}} &= \frac{T - T_{y}}{tg\left(\alpha_{yz} + \alpha_{zy}\right)}, L_{1y^{+}z^{-}} = \frac{T - T_{y}}{tg\left(\left|\alpha_{yz} - \alpha_{zy}\right|\right)}, \\ L_{1y^{-}z^{+}} &= \frac{T - T_{y}}{tg\left(\left|-\alpha_{yz} + \alpha_{zy}\right|\right)}, L_{1y^{-}z^{-}} &= \frac{T - T_{y}}{tg\left(\left|-\alpha_{yz} - \alpha_{zy}\right|\right)}. \end{split}$$

Анализ обеспечения допуска перпендикулярности в случае параллельности рассматриваемой оси к осям X и Y сводится к проверке условий:

$$\begin{split} T \geq T_{z}, T \geq T_{y}, L \leq L_{1x^{\pm}z^{\pm}}, L \leq L_{1y^{\pm}x^{\pm}}, \\ T \geq T_{x}, T \geq T_{z}, L \leq L_{1x^{\pm}y^{\pm}}, L \leq L_{1y^{\pm}z^{\pm}}. \end{split} \tag{3}$$

Определение оптимальной плоскости системы координат 3D-принтера предлагается осуществлять с помощью матриц ориентации. В таблице 3 представлена матрица для определения ориентации тройной однонаправленной (установочной) базы перпендикулярно плоскостям системы координат принтера для обеспечения перпендикулярности оси относительно плоскости с вероятностью 100 %.

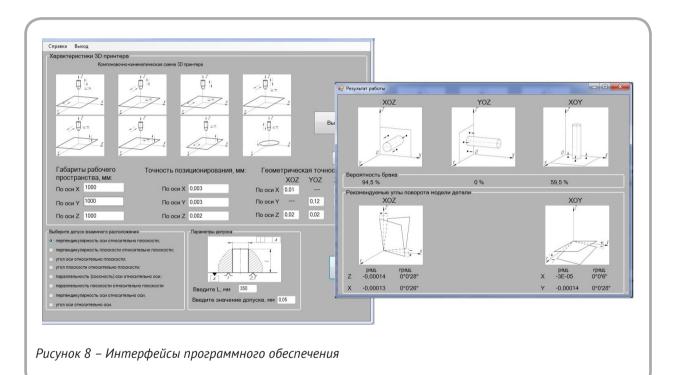
В том случае, если заданный допуск взаимного расположения невозможно обеспечить при ориентации главной базы перпендикулярно плоскостям системы координат принтера на всей длине с вероятностью $100\,\%$, то необходимо определить углы поворота базовой поверхности, позволяющие полностью разместить поле допуска $T_{x(y,z)}$ в поле допуска T (рисунок 7). Для определения углов поворота несложно составить соответствующие модели, учитывающие геометрическую точность принтера $a_{xz(xy)}, a_{zx(zy)}, a_{yz(yx)}$. При этом следует учитывать то, что при повороте модели вокруг осей X и Y возникает необходимость использования поддержек.

Аналогичные рассуждения позволили составить матрицы для определения ориентации главных баз и сочетаний главной базы с другими базами в системе координат принтера в зависимости от необходимости обеспечения приоритетных допусков взаимного расположения, а также разработать программное обеспечение для определения ориентации главных баз (рисунок 8).

Программное обеспечение разработано на языке С# в виртуальной среде Microsoft-VisualStudio 2019 с использованием стандартных элементов и математических функций. При работе с системой пользователь последовательно вводит информацию о компоновочно-кинематической схеме принтера, его точности позиционирования и геометрической точности по осям, параметрах поверхности с приоритетным допуском. Результатом работы являются сведения о возможности обеспечения допуска взаимного расположения на заданной длине при различном базировании модели детали относительно осей системы координат принтера, а также рекомендации о возможном повороте модели для обеспечения приоритетного допуска взаимного расположения.

Таблица 3 – Матрица для определения ориентации тройной однонаправленной (установочной) базы для обеспечения перпендикулярности оси относительно плоскости

		X		Y		Z	
		$X^{\scriptscriptstyle +}$	<i>X</i> -	Y ⁺	Y -	$oldsymbol{Z}^{\scriptscriptstyle +}$	Z -
X	$X^{\scriptscriptstyle +}$			$L_{1x^{+}y^{+}}$	$L_{1x^+y^-}$	$L_{1x^+z^+}$	$L_{1x^+z^-}$
Λ	<i>X</i> -			$L_{1x^{-}y^{+}}$	$L_{1x\bar{y}}$	$L_{1x^-z^+}$	$L_{1x\bar{z}}$
Y	Y^+	$L_{1x^{^{+}}y^{^{+}}}$	$L_{1x^+y^-}$			$L_{{\scriptscriptstyle 1y}^{^{+}z^{^{+}}}}$	$L_{_{1y}^{^{+}z^{-}}}$
1	Y -	$L_{1x^{-}y^{+}}$	$L_{1x\overline{y}}$			$L_{_{1y}^-z^+}$	$L_{_{1y}^{-}z^{-}}$
\boldsymbol{z}	$oldsymbol{Z}^{\scriptscriptstyle +}$	$L_{1x^+z^+}$	$L_{1x^+z^-}$	$L_{{\scriptscriptstyle 1y}^{^{+}z^{^{+}}}}$	$L_{_{1y}^{^{+}z^{-}}}$		
L	$oldsymbol{Z}^-$	$L_{1x^{-}z^{+}}$	$L_{1x\bar{z}}$	$L_{1y^{-}z^{+}}$	$L_{_{1y}\bar{_{z}}}$		
Проверка условий		$L \leq L_{1x_y^{\pm}}; L \leq L_{1x_z^{\pm}}$		$L \leq L_{1x^{rac{1}{y}}y^{rac{1}{z}}}; L \leq L_{1y^{rac{1}{z}}z^{rac{1}{z}}}$		$L \leq L_{1x^{\frac{1}{z}}z^{\frac{1}{z}}}; L \leq L_{1y^{\frac{1}{z}}z^{\frac{1}{z}}}$	
Тройная однонаправленная (установочная) база		YOZ		XOZ		XOY	



выводы

В результате исследований предложена система терминов проектного базирования при аддитивном синтезе, которая за счет определения понятий геометрической модели детали, приоритетного допуска, состава и комплекта баз, схемы базирования позволила предложить последовательность процедур базирования (ориентации) моделей деталей машин в рабочей

зоне 3D-принтеров. Последовательность процедур включает: определение и индентификацию возможных составов баз ориентации конструктивных элементов, определение параметров геометрической точности 3D-принтера, формирование базовой системы координат (за счет наложения на модель геометрических связей) и ее привязку к системе координат 3D-принтера и уже на стадии проектирования дает возможность оценить достижимость заданных чертежом допусков взаимного расположения поверхностей, а также рекомендовать варианты ориентации модели детали в рабочей зоне 3D-принтера на основе параметров его геометрической точности для обеспечения допусков взаимного расположения.

Представление описанной методики на языке теории автоматизации проектирования, алгебры логики и теории алгоритмов дало возможность создать программное обеспечение, позволяющее прогнозировать обеспечение точности допусков взаимного расположения поверхностей при 3D-печати, рекомендовать варианты базирования моделей деталей в рабочей зоне 3D-

принтера на основе анализа его геометрической точности для обеспечения допусков взаимного расположения и, как следствие, снижать вероятность печати бракованных деталей.

Программное обеспечение прошло опытную эксплуатацию в учебном процессе кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет». Разработки могут использоваться в: проектных бюро предприятий, использующих 3D-принтеры; IT-компаниях для создания и совершенствования программ-слайсеров; учебном процессе для подготовки специалистов в области производства изделий на основе трёхмерных технологий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Полторан, Я. Е., Ведищев, К. А. (2019), 3D-печать в современной промышленности, *Аллея науки*, 2019, Т. 1, № 7(34), С. 3 6.
- 2. Никифоров, С. О. (2016) Технология 2D- и 3D-печати, 3D-принтеры, Вестник Бурятского научного центра сибирского отделения РАН, 2016, № 4 (24), С. 156–163.
- 3. Зленко, М. А., Нагайцев, М. В., Довбыш, В. М. (2015), Аддитивные технологии в машино-строении. Пособие для инженеров, Москва, 2015, 220 с.
- 4. Попов, С. Ю., Зеленина, А. Н., Токарева, Н. М. (2019), Программное обеспечение подготовки 3D-моделей к 3D-печати, *Вестник Воронежского института высоких технологий*, 2019, № 2 (29), С. 33–39.
- 5. Блохин, А. В., Сапилова, А. А., Абашкина, П. Н. (2019), Печать трёхмерных объектов с использованием оптимальных настроек 3D-принтера, *Научно-практические исследования*, 2019, № 8-3 (23), С. 24–28.

REFERENCES

- 1.Poltoran, Y. E., Vedishchev, K. A. (2019), 3D printing in modern industry [3D-pechat' v sovremennoj promyshlennosti], *Alley of Science*, 2019, V. 1, № 7 (34), pp. 3–6.
- 2. Nikiforov, S. O., Marhadaev, B. E., Nikiforov, B. S., Sholohov E. S. (2016), 2D and 3D printing technology, 3D printers [Tehnologija 2D- i 3D-pechati, 3D-printery], Vestnik Buryatskogo nauchnogo centra sibirskogo otdeleniya RAN Bulletin of the Buryat Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2016, № 4 (24), pp. 156–163.
- 3. Zlenko, M. A., Nagaytsev, M. V., Dovbysh, V. M. (2015), *Additivnye tehnologii v mashinostroenii. Posobie dlja inzhenerov* [Additive technologies in mechanical engineering. A guide for engineers], Moscow, 220 p.
- 4. Popov, S. Y., Zelenina, A. N., Tokareva, N. M. (2019), Software for preparing 3D models for 3D printing [Programmnoe obespechenie podgotovki 3D-modelej k 3D-pechati], Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij Vestnik of the Voronezh Institute of High Technologies, 2019, № 2 (29), pp. 33–39.

- 6. 3D Today: О «правильном» и «неправильном» расположении моделей при печати на фотополимерном принтере (2021), режим доступа: https://3dtoday.ru/blogs/pl32/o-pravilnom-inepravilnom-raspolozenii-modelei-pri-pecatina-fotopolimernom-printere, (дата доступа: 07.11.2021).
- 7. 3D Printer: Как ориентация детали влияет на 3D печать? (2021), режим доступа: https://3dprinter.ua/kak-orientacija-detali-vlijaet-na-3d-pechat, (дата доступа: 07.11.2021).
- 8. Савицкий, В. В., Голубев, А. Н., Быковский, Д. И. (2018), Исследование параметров 3D печати на размерную точность изделий, *Вестник ВГТУ*, 2018, № 2(35), С. 52–61.
- 9. Зверовщиков, А. Е., Шелахаев, Д. А., Нестеров, С. А. (2019), Исследование точности размеров, обеспечиваемых технологией 3D-печати, Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки, 2019, № 1 (49), С. 66–78.
- 10. Гусев, Д. В. (2019), Повышение показателей качества изготавливаемых изделий при использовании технологии быстрого прототипирования, *Автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08*, Ульяновск, 17 с.
- 11. ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения. (1990), издание официальное: утвержден и введен в действие госстандартом СССР: дата введения 1977-01-01, Москва, Издательство стандартов, 35 с.
- 12. Абрамов, Ф. Н. (2006), О разработке терминологии базирования в машиностроении, *Вестник машиностроения*, 2006, № 2, С. 67–72.
- 13. Сысоев, Ю. С., Томилин, С. А. (2008), Предложение по совершенствованию ГОСТ 21495–76 «Базирование и базы в машиностроениии. Термины и определения», *Вестник машиностроения*, 2008, № 1, С. 48–51.

- 5. Blokhin, A. V., Sapilova, A. A., Abashkina, P. N. (2019), Printing 3D objects using optimal 3D printer settings [Pechat' trjohmernyh ob#ektov s ispol'zovaniem optimal'nyh nastroek 3D-printera], *Scientific and practical research*, 2019, № 8-3 (23), pp. 24–28.
- 6. O «pravil'nom» i «nepravil'nom» raspolozhenii modelej pri pechati na fotopolimernom printere [About the "correct" and "incorrect" arrangement of models when printing on a photopolymer printer], (2021), available at:https://3dtoday.ru/blogs/pl32/o-pravilnom-inepravilnom-raspolozenii-modelei-pri-pecatina-fotopolimernom-printere, (accesed 07 november 2021).
- 7. Kak orientacija detali vlijaet na 3D pechat'? [How does part orientation affect 3D printing?], (2021), available at: https://3dprinter.ua/kak-orientacija-detali-vlijaet-na-3d-pechat, (accesed 07 november 2021).
- 8. Savitsky, V. V., Golubev, A. N., Bykovsky, D. I. (2018), Study of 3D printing parameters for dimensional accuracy of products [Issledovanie parametrov 3D pechati na razmernuju tochnost' izdelij], Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta Vestnik of Vitebsk State Technological University, 2018, № 2 (35), pp. 52–61.
- 9. Zverovshchikov, A. E., Shelahaev, D. A., Nesterov, S. A. (2019), Examining the dimensional accuracy of 3D printing technology [Issledovanie tochnosti razmerov, obespechivaemyh tehnologiej 3D-pechati], *News of higher educational institutions. Volga region. Technical science*, 2019, № 1 (49), pp. 66–78.
- 10. Gusev, D. V. (2019), Povyshenie pokazatelej kachestva izgotavlivaemyh izdelij pri ispol'zovanii tehnologii bystrogo prototipirovanija [Improving the quality of manufactured products using rapid prototyping technology], *Abstract dis. ... cand. tech. Sciences : 2008.05.02*, Ulyanovsk, 17 p.

- 14. Новоселов, Ю. А. (2009), Альтернативная концепция теории базирования в машиностроении, *Вестник машиностроения*, 2009, № 2, С. 48–55.
- 15. Базров, Б. М. (2017), Практическое приложение теории базирования в машиностроении, *Вестник машиностроения*, 2017, № 5, С. 6–11.
- 16. Базров, Б. М., Хейфец, М. Л. (2020), Совершенствование основ теории базирования с учетом развития традиционных и аддитивных технологий, *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*, 2020, Т. 64, № 5, С. 617–623.
- 17. Попок, Н. Н., Беляков, Н. В., Махаринский, Ю. Е., Латушкин, Д. Г. (2020), Практическое приложение теории базирования для синтеза универсально-сборных приспособлений, *Вестник ПГУ*, 2020, № 11, С. 21–31.
- 18. Беляков, Н. В. (2021), *Научные основы технологии машиностроения*, Ч. 1, Витебск, 2021, 309 с.

- 11. GOST 21495-76. *Basing and bases in mechanical engineering. Termsand Definitions*, Vved. 1977.01.01, Publishing House of Standards, Moscow, 1977, 35 p.
- 12. Abramov, F. N. (2006),On the development of basing terminology in mechanical engineering [O razrabotke terminologii bazirovanija v mashinostroenii], *Vestnik of Mechanical Engineering*, 2006, № 2, pp. 67–72.
- 13. Sysoev, Y. S., Tomilin, S. A. (2008), Proposal for improvement of GOST 21495–76 "Basing and bases in mechanical engineering. Terms and Definitions" [Predlozhenie po sovershenstvovaniju GOST 21495–76 "Bazirovanie i bazy v mashinostroeniii. Terminy i opredelenija"], Vestnik of Mechanical Engineering, 2008, № 1, pp. 48–51.
- 14. Novoselov, Y. A. (2009), Alternative concept of basing theory in mechanical engineering [Al'ternativnaja koncepcija teorii bazirovanija v mashinostroenii], *Vestnik of Mechanical Engineering*, 2009, № 2, pp. 48–55.
- 15. Bazrov, B. M. (2017), Practical application of the theory of basing in mechanical engineering [Prakticheskoe prilozhenie teorii bazirovanija v mashinostroenii], *Vestnik of Mechanical Engineering*, 2017, № 5, pp. 6–11.
- 16. Bazrov, B. M., Heifetc, M. L. (2020), Improving the foundations of the theory of basing, taking into account the development of traditional and additive technologies [Sovershenstvovanie osnov teorii bazirovanija s uchetom razvitija tradicionnyh i additivnyh tehnologij], *Report National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, V. 64, № 5, pp. 617–623.
- 17. Popok, N. N., Belyakov, N. V., Makharinsky, Y. E., Latushkin, D. G. (2020), Practical application of the theory of basing for the synthesis of universal prefabricated fixtures [Prakticheskoe prilozhenie teorii bazirovanija dlja sinteza universal'no-sbornyh prisposoblenij], Vestnik

PGU – Vestnik of Polotsk State University, 2020, № 11, pp. 21–31.

18. Belyakov, N. V., Gorohov, V. A., Makharinsky, Y. E., Olshansky, V. I. (2021), *Nauchnye osnovy tehnologii mashinostroenija: uchebnoe posobie* [Scientific foundations of mechanical engineering technology: textbook], V. 1, Vitebsk, 309 p.

Статья поступила в редакцию 29. 11. 2021 г.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМОУСТОЙЧИВОСТИ ПЯТОЧНОЙ ЧАСТИ ОБУВИ

RATIONALIZATION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE SHAPE RETENTION OF THE SHOE STIFFENERS

УДК 685.34.017

П.Г. Деркаченко*, А.Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-35-42 **P. Dzerkachenka***, **A. Burkin**

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ОБУВЬ, ПЯТОЧНАЯ ЧАСТЬ, ФОРМОУСТОЙЧИ-ВОСТЬ, ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ. КАЧЕСТВО

Статья посвящена разработке рекомендаций по совершенствованию методики измерений при определении общей и остаточной деформации задника, изложенной в ГОСТ 9135-2004 «Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника». Данная методика имеет ряд недостатков, которые заключаются в следующем:

- стандартный вкладыш в пяточную часть обуви, как правило, не соответствует её внутренней форме и размерам;
- не учитывается масштабный фактор при приложении одинаковой деформационной нагрузки для обуви, имеющей разные средние размеры: мужской, женской, мальчиковой, девичьей, обуви для школьников.

Указанные выше недостатки можно исключить, не внося изменений в конструкцию прибора ЖНЗО-2, а только в методику проведения испытаний и оснастку, используемую для этого.

В статье также приведены исследования остаточной деформации натуральных кож, картонов и задников, которые показывают, что применение новой оснастки и изменения в методике, регламентированной ГОСТ 9135-2004, позволяют существенно повысить точность и достоверность результатов.

Объекты исследования – натуральная кожа «Элит», картон для задников Ledtrret 22, формованные задники из данного картона.

ABSTRACT

FOOTWEAR, STIFFENERS, SHAPE RETENTION, TECHNICAL REGULATIONS, QUALITY

The article is concerned with the development of recommendations for rationalization the measurement methodology of determining the total and residual deformation of the stiffeners, regulated by quality standard GOST 9135-2004 "Shoes. Method for determining the total and residual deformation of the toe puff and stiffeners". This technique has a number of disadvantages, which are as follows:

- the standard inserts in the stiffeners, as a rule, do not correspond to their internal shape and size;
- the scale factor is not taken into account when applying the same deformation load for shoes that have different average sizes;

The disadvantages mentioned above can be eliminated without making changes to the design of ZhNZO-2 device, but only to the testing procedure and the equipment used for this.

The article also presents studies of the residual deformation of natural leathers, cardboards and stiffeners, which show that the use of new equipment and changes in the methodology regulated by GOST 9135-2004 can significantly improve the accuracy and reliability of the results.

The objects of study are genuine leather "Elite", cardboard for stiffeners "Ledtrret 22" and stiffeners.

The results of the work can be used as recommendations for improving the methodology and equipment for assessing the overall and residual deformation of the stiffeners.

^{*} E-mail: pawelderk@mail.ru (P. Dzerkachenka)

Результаты работы – рекомендации по усовершенствованию методики и оснастки для оценки общей и остаточной деформации задника.

Область применения – обувная промышленность.

Научная новизна работы заключается в том, что предложенные в ней усовершенствования позволяют более достоверно оценить показатели формоустойчивости не только пяточной части обуви, но и формованного задника.

The scope of application is presented by the shoe industry.

The scientific novelty of the work is expressed in in the fact that the improvements proposed in it make it possible to assess more reliably the shape retention indicators not only of the completed shoe, but also of the stiffeners.

ВВЕДЕНИЕ

Предлагаемое название настоящей статьи не совсем соответствует названию межгосударственного стандарта ГОСТ 9135-2004 «Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника» [1], но, по сути, мы измеряем именно формоустойчивость пяточной части обуви, а не задника. Не будем проводить подробный анализ наименования данного ТНПА, а попробуем разобраться в процедуре измерения, методике и работе прибора ЖНЗО-2 на примере материалов, применяемых для изготовления обуви. Проведённые ранее исследования [2, 3, 4, 5] показали, что точность и погрешность измерения общей и остаточной деформации задника будут зависеть от многих факторов, среди которых можно выделить:

- вид обуви (туфли, полуботинки, ботинки, сапоги):
 - конструкция заготовки верха обуви;
- технологический процесс изготовления формованных картонных задников;
- технология сборки заготовки верха и предварительного формования пяточной части обуви;
- технология формования и фиксации верха обуви;
- соответствие формы и размера стандартного вкладыша в пяточную часть обуви её внутренним форме и размерам.

В связи с указанным выше, можно предположить, что при постановке продукции на производство достаточным будет убедиться в том, что одно из комплектующих изделий – задник – обеспечивает нам достаточную формоустойчи-

вость пяточной части обуви, если по параметру «остаточная деформация» он имеет значение менее 1 *мм*, так как ТНПА не ограничивает нас в этом. Процитируем п. 1 «Область применения» ГОСТ 9135-2004:

«Настоящий стандарт распространяется на обувь из кожи, искусственной и синтетической кожи, текстиля, с комбинированным верхом и устанавливает метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника. Сущность метода заключается во вдавливании шарового сегмента в поверхности носочной или пяточной части обуви. Общая и остаточная деформация подноска и задника характеризуют их способность сопротивляться изменениям формы под действием внешней силы и восстанавливать форму после прекращения ее действия» [1]. Причём, с точки зрения оценки качества обуви, оптимальным является стремление значения остаточной деформации к нулю. Кроме того, предприятия-изготовители обуви, как правило, закупают готовые формованные картонные задники.

В связи с вышесказанным, можно утверждать, что для обеспечения необходимой формоустойчивости пяточной части готовой обуви, при постановке изделия на производство достаточно будет убедиться, что остаточная деформация картонного задника меньше нормируемого значения 1 *мм*.

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования были выбраны натуральная кожа «Элит», картон для задников Ledtrret 22, а также формованные задники из данного картона. Проводились исследования

остаточной деформации указанных образцов с использованием прибора ЖНЗО-2 с целью набора массивов данных для их анализа с точки зрения осуществления входного контроля качества, а также влияния деформационных свойств материалов верха и задника на формоустойчивость пяточной части готовой обуви.

Для испытаний были подготовлены 25 образцов размерами 50х50 *мм* натуральной кожи «Элит», толщиной 1,1 *мм*, и картона для задников Lederret 22, толщиной 1,5 *мм*, а также 25 образцов задников средних размеров, отформованных из картона Lederret 22, для мужских полуботинок клеевого метода крепления. Точку приложения деформационной нагрузки отметили в центре каждого образца.

Далее проводились испытания согласно ГОСТ 9135-2004 для получения массивов данных по остаточной деформации соответственно во всех 3 группах образцов. Перед испытаниями все образцы были выдержаны при относительной влажности $65 \pm 5 \%$ и температуре воздуха $20 \pm 2 \, ^{\circ}C$ в течение 24 часов.

Нам необходимо разобраться в процедуре измерения, которая заключается в реакции материалов пяточной части обуви на внешнюю нагрузку. В данном случае нагрузка является существенной – 80 **H**. Очевидно, что при такой нагрузке на поверхности пяточной части в процессе измерения образуется значительная вмятина. При этом основная деформация приходится на кожу верха обуви, однако и другие материалы пакета верха будут деформироваться.

В связи со сказанным выше, экспериментальная часть работы была проведена следующим образом:

- на первом этапе исследования определяли влияние нагрузки на остаточную деформацию материалов для верха обуви;
- на втором этапе исследования определяли влияние нагрузки на остаточную деформацию материалов для задников;
- на третьем этапе проводили измерения остаточной деформации формованных задников.

Для проведения испытаний мы использовали поверенный прибор ЖНЗО-2, изготовленный в 2006 г. на предприятии «Ижмашприбор». В технических характеристиках прибора заявлена

абсолютная погрешность измерения деформации \pm 0,01 mm. Внешний вид прибора приведён на рисунке 1.



Корпус 8 прибора укреплен на плите 9, служащей для установки приспособлений с закрепленной для проведения испытаний полупарой обуви. В корпус вмонтирован индикатор 3, который соединен с измерительным штоком 2. Прибор снабжен набором съемных наконечников 1, которые закрепляются на измерительном штоке и представляют собой шаровые сегменты разных радиусов. Шаровые сегменты диаметром 24,5 *мм* служат для испытания мужской, женской, мальчиковой и девичьей обуви, а диаметром 14 мм - для испытания малодетской, дошкольной обуви и обуви для школьников. На измерительный шток действует грузовой шток массой 0,5 кг с набором съемных грузов 5. Ручка 4 служит для опускания и подъема измерительного штока, рукоятка 6 - для снятия и подачи нагрузки на обувь, рукоятка 7 - для закрепления шарового сегмента с измерительным штоком в верхнем положении.

При испытании готовой обуви её закрепляют на приборе с помощью специальных приспособлений (рисунок 2).

Приспособление для закрепления обуви при испытании задника представляет собой скобу со стойками 8 и 11. Через резьбовое отверстие в стойке 8 проходит винт 9 с наконечником 10, которым испытуемую полупару обуви прижимают каблучной частью к рифленой поверхности стойки 11.

Для устранения влияния сходимости крыльев задника на величину его деформации, получаемой при вдавливании наконечника в поверхность пяточной части обуви, прибор укомплектован набором металлических вкладышей для правой и левой полупары, по форме соответствующих пяточной части обуви. Каждый вкладыш рассчитан на испытание обуви трех смежных размеров. Боковые стенки вкладыша имеют отверстия 16 почти по всей длине и высоте. Прилегание задника к вкладышу достигается разведением его сторон 17 и 19 на требуемую величину вращением гайки 18.

Перед испытаниями проводится отбор образцов в соответствии с ГОСТ 9289 [6]. Каждую испытуемую полупару обуви маркируют порядковым номером на ходовой поверхности подошвы. Прибор устанавливают на ровной поверхности, шток с грузами - в верхнем положении. Определение остаточной деформации задника

малодетской и дошкольной обуви осуществляют при грузе массой 5 κz , мужской, женской, мальчиковой, девичьей, обуви для школьников – 8 кг. На боковой поверхности задника отмечают точку O приложения нагрузки (рисунок 3).

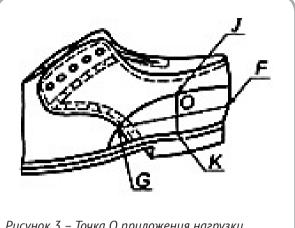


Рисунок 3 – Точка О приложения нагрузки

В случае, если точки приложения нагрузки располагаются на швах, соединяющих детали заготовки, декоративных швах и перфорациях, деформацию задника не определяют.

Полупару со вставленным вкладышем закрепляют в приспособлении и устанавливают на плите прибора. В точку $m{O}$ опускают шаровой сегмент 1. Показание индикатора записывают

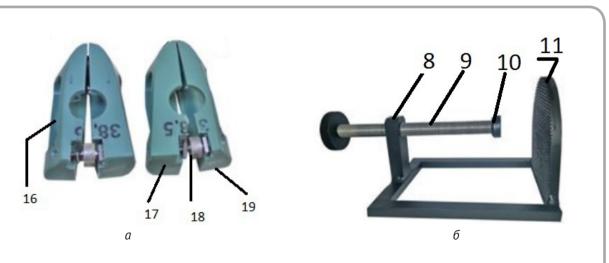


Рисунок 2 – Приспособления для закрепления обуви: а – вкладыши в пяточную часть обуви для левой и правой полупар; б – приспособление для закрепления полупары обуви

с точностью ±0,01 *мм*. Затем плавным поворотом ручки 6 по часовой стрелке на 90° опускают грузовой шток и создают соответствующую нагрузку на штоке с шаровым сегментом, который вдавливается в поверхность пяточной части обуви. Обувь выдерживают под нагрузкой в течение (30±1) с и записывают показание индикатора. Поворотом ручки 6 против часовой стрелки на 90° поднимают грузовой шток и снимают нагрузку, шаровой сегмент со штоком закрепляют в верхнем положении ручкой 7. По истечении $3 \, muh \pm 3 \, c$ рукояткой 7 опускают шток с шаровым сегментом в ту же точку пяточной части испытуемой обуви и отмечают показание индикатора. Испытание задника проводят с наружной и с внутренней стороны. Положение закрепленной полупары обуви в течение всего испытания должно оставаться постоянным.

Показателем остаточной деформации задника является разность между показанием индикатора через 3 **мин** ± 3 с после снятия нагрузки и начальным показанием.

Остаточную деформацию задника, мм, вычисляют по формуле

$$\boldsymbol{D}_{ocm} = \boldsymbol{D}_3 - \boldsymbol{D}_1 , \qquad (1)$$

где $\boldsymbol{D_1}$ – начальное показание индикатора (до нагружения), \boldsymbol{mm} ; $\boldsymbol{D_3}$ – показание индикатора через 3 \boldsymbol{muh} после снятия нагрузки, \boldsymbol{mm} .

Остаточную деформацию задника определяют как среднеарифметическое значение результатов испытаний задника с внешней и внутренней стороны. За результат испытания принимают значение показателей, полученных при испытании каждой полупары обуви [1].

При проведении первого и второго этапов мы изучали влияние вида материала верха и задника на формоустойчивость пяточной части обуви. На рисунке 4 изображена схема и порядок проведения данных этапов исследований.

Как видно из рисунка 4, для испытаний нами была использована дополнительная оснастка – металлическая пластина, при помощи которой мы добились того, что материал под действием нагрузки P деформировался только в точке её приложения, а не по всей поверхности образца.

В результате проведённых исследований было установлено, что для натуральной кожи остаточная деформация составляет 0,18–0,24 *м.м.*, а для картона для задников – 0,03–0,04 *м.м.* Анализируя полученные значения, можно отметить следующее:

- наибольшее влияние на величину значений общей и остаточной деформации пяточной части обуви оказывают деформационные свойства материалов для наружных деталей верха (для натуральной кожи от 20 % до 40 % от нормируемой величины в 1 *мм*);
- очевидно, что обувные картоны будут оказывать на порядок меньшее влияние на проводимые измерения, чем остальные материалы для наружных деталей верха;
- при снятии значений с индикатора требуется определённое дополнительное время (50–100 c), в течение которого образец находится под нагрузкой, что может незначительно исказить получаемые результаты, однако последнее можно исключить при выполнении работ одновременно двумя сотрудниками лаборатории.

Второй этап включал набор экспериментальных данных по определению остаточной деформации формованных задников. При этом основная проблема заключалась в том, чтобы добиться максимально возможного прилегания картонного задника к поверхности вкладыша, поскольку форма и размеры последнего не всегда соответствуют внутренним форме и размерам пяточной части обуви, что нередко вызывает погрешность в измерениях остаточной деформации задника. Кроме того, было установлено, что величина остаточной деформации зависит от положения точки приложения нагрузки $oldsymbol{O}$, которое, в свою очередь, согласно методике проведения испытаний, зависит от длины крыла задника: чем ближе точка O к пяточному закруглению, тем ниже эта величина. Таким образом, разброс экспериментальных данных получился достаточно существенным – в пределах от 0,56 *мм* до 1,3 *мм*.

Для устранения указанных проблем нами была применена дополнительная оснастка в виде зажима. Также для устранения зависимости расположения точки О от длины крыла задника её отмечали в соответствии со стандартным сечением стопы – $0.18~\mathcal{I}_{cm}$. Указанные действия позволили уменьшить разброс значе-

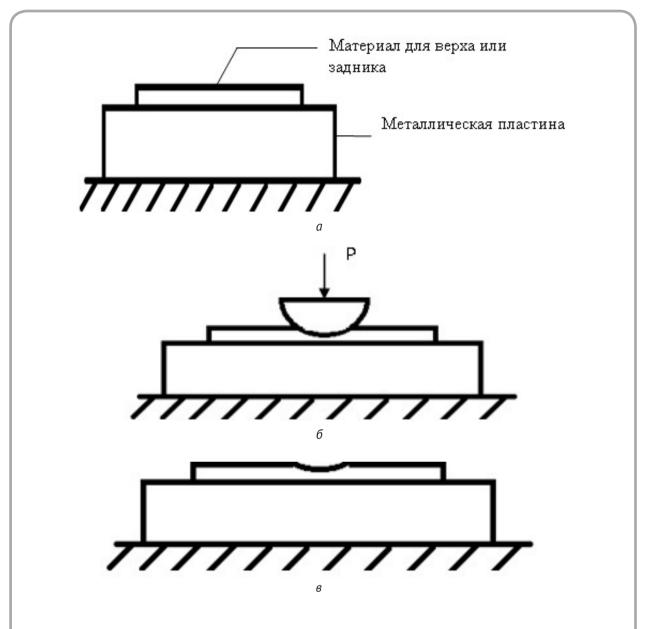


Рисунок 4 — Схема процедуры измерения: а — до измерения; б — в процессе измерения (с нагрузкой — $m{D}_{o c m}$)

ний результатов испытаний до диапазона 0,68–0,97 *мм*, то есть более чем в 2,5 раза.

Основными предложениями, разработанными нами в процессе исследований, являются:

- использование дополнительного зажима или иного крепления для более плотного прилегания задника к пяточному закруглению вкладыша;
- предварительное закрепление задника на стелечном узле обуви;

– для устранения масштабного фактора предлагается связать точку приложения нагрузки с соответствующим стандартным сечением стопы – $0.18~\mathcal{A}_{cm}$, которое достаточно просто разметить на заднике.

Таким образом, в результате проведённых исследований можно констатировать следующее:

– поскольку задник является деталью, которая обеспечивает формоустойчивость пяточной части обуви, предлагается оценивать его фор-

моустойчивость на этапе входного контроля качества при постановке продукции на производство;

- предложены варианты использования дополнительной оснастки для проведения исследований с целью расширения возможностей применения стандартной методики и исключения неточностей, возникающих в процессе измерения деформации;
- предложено в методику, регламентированную ГОСТ 9135-2004, внести изменения в отношении точки приложения нагрузки, которая будет привязана к длине стопы (0,18 \mathcal{A}_{cm}), что позволит исключить масштабный фактор при измерении остаточной деформации;
- при оценке остаточной деформации возникают ограничения, связанные с наличием перфорации или швов на деталях верха. Согласно методике, регламентированной ГОСТ 9135-2004, испытания формоустойчивости пяточной части обуви при этом не проводят. Однако данное ограничение можно исключить, если проводить испытания формоустойчивости формованного задника.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. ГОСТ 9135-2004. Обувь. Метод определения общей и остаточной деформации подноска и задника, Введ. 01.07.06, Стандартинформ, Москва, 2006, 8 с.
- 2. Загайгора, К. А. (1987), Выбор рациональных композиций для верха обуви, Совершенствование методов конструирования и технологии изделий из кожи, *Сборник научных трудов*, Москва, 1987, С. 25–29.
- 3. Деркаченко, П. Г., Буркин, А. Н. (2010), Определение общей и остаточной деформации обуви: достоинства, недостатки, пути совершенствования, *Научно-практический журнал* «Стандартизация», 2010, № 6, С. 32–34.

REFERENCES

- 1. GOST 9135-2004. Footwear. Method for determining the total and residual deformation of the toe puff and stiffeners, Vved. 07.01.06, Standartinform, Moscow, 2006, 8 p.
- 2. Zagaygora, K. A. (1987), Selection of available compositions for shoe uppers, Development of development methods and technologies for leather products [Vybor racional'nyh kompozicij dlya verha obuvi], *Collection of scientific papers*, Moscow, 1987, pp. 25–29.
- 3. Derkachenko, P. G., Burkin, A. N. (2010), Determination of total and permanent deformation: advantages, implementation, ways to rationalization [Opredelenie obshchej i ostatochnoj deformacii obuvi: dostoinstva, nedostatki, puti sovershenstvovaniya], *Scientific*

- 4. Загайгора, К. А., Максина, З. Г. (2014), Формоустойчивость верха обуви из различных материалов, Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности, Материалы докладов международной научно-технической конференции, Витебск, 2014, С. 147–149.
- 5. Томашева, Р. Н., Горбачик, В. Е. (2015), Анализ методов оценки упруго-пластических свойств обувных материалов, Техническое регулирование: базовая основа качества материалов, товаров и услуг, *Международный сборник научных трудов*, Шахты, 2015, С. 342–348.
- 6. ГОСТ 9289-78. *Обувь. Правила приемки*, Введ. 01.01.79, Издательство стандартов, Москва, 1999, 5 с.

- and practical journal "Standardization", 2010, N° 6, pp. 32–34.
- 4. Zagaigora, K. A., Maksina, Z. G. (2014), Shape retention of shoe uppers made of various materials [Formoustojchivost' verha obuvi iz razlichnyh materialov], *Innovative technologies in the textile and manufacturing industry, Proceedings of the international scientific and technical conference*, Vitebsk, 2014, pp. 147–149.
- 5. Tomasheva, R. N., Gorbachik, V. E. (2015), Analysis of methods for assessing the elastic-plastic properties of shoe materials [Analiz metodov ocenki uprugo-plasticheskih svojstv obuvnyh materialov], Technical regulation: the basic basis of quality, materials and services, *International collection of scientific papers*, Mines, 2015, pp. 342–348.
- 6. GOST 9289-78. *Footwear. Acceptance rules*, Vved. 01.01.79, Recipe Publishing House, Moscow, 1999, 5 p.

Статья поступила в редакцию 26. 04. 2022 г.

МЕТОД РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОЛЕС С МНОГОПЕРИОДНЫМИ ДОРОЖКАМИ ПЛАНЕТАРНЫХ ШАРИКОВЫХ ПЕРЕДАЧ

METHOD FOR CALCULATING THE ACCURACY PARAMETERS OF MANUFACTURING WHEELS WITH MULTI-PERIOD TRACKS OF PLANETARY BALL GEARS

УДК 621.83, 62-187

А.В. Капитонов*, Р.Г. Якубовский

Белорусско-Российский университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-43-52

A. Kapitonov*, R. Yakubovsky

Belarusian-Russian University

РЕФЕРАТ

МЕТОД РАСЧЕТА, ПАРАМЕТРЫ ТОЧНОСТИ, КОЛЕСО, МНОГОПЕРИОДНАЯ ДОРОЖКА, ПЛАНЕ-ТАРНАЯ ШАРИКОВАЯ ПЕРЕДАЧА, ПОГРЕШНОСТИ ОБРАБОТКИ

Точность изготовления колес с многопериодными дорожками значительно влияет на плавность работы и нагрузочную способность планетарной шариковой передачи. Актуальной задачей является определение погрешностей изготовления колеса передачи.

Рассмотрен метод расчета, позволяющий определять погрешности положения обрабатываемого профиля относительно базовой поверхности детали для линейных размеров. Его можно использовать для обработки заготовок на металлорежущих станках в обычных производственных условиях.

На основе известных математических зависимостей разработан метод расчета погрешностей изготовления колеса с многопериодной дорожкой. Метод заключается в определении случайных и систематических погрешностей, связанных с различными технологическими факторами, расчете и суммировании этих погрешностей с использованием законов распределения случайных величин теории вероятности и разработанных компьютерных программ. На основе разработанного метода выведены формулы расчета суммарной погрешности обработки колеса с многопериодной дорожкой, характеризующие смещение заготовки вдоль координатных осей станка. Для определения погрешностей от смещений и поворотов деталей с многопериодными дорожками разработана методика расчета,

ABSTRACT

CALCULATION METHOD, ACCURACY PARAMETERS, WHEEL, MULTI-PERIOD TRACK, PLANETARY BALL GEAR, PROCESSING ERRORSD

The precision of manufacturing wheels with multi-period tracks significantly affects the smoothness of operation and the load capacity of the planetary ball gear. An urgent task is to determine the manufacturing errors of the transmission wheel.

The article discusses a calculation method that allows to determine the position errors of the processed profile relative to the base surface of the part for linear dimensions. It can be used for processing workpieces on metal-cutting machines in normal production conditions.

On the basis of known mathematical dependencies, a method for calculating manufacturing errors of a wheel with a multi-period track has been developed. The method consists in determining random and systematic errors associated with various technological factors, calculating and summing these errors using the laws of distribution of random variables of probability theory and developed computer programs. Based on the developed method, formulas for calculating the total error of processing a wheel with a multi-period track are derived, characterizing the displacement of the workpiece along the coordinate axes of the machine. To determine the errors from displacements and rotations of parts with multiperiod tracks, a calculation method based on the use of the matrix method has been developed.

Graphs are presented that characterize the influence of the shape error of the base surface of the wheel blank on the total processing error of the

^{*} E-mail: kavbru@gmail.com (A. Kapitonov)

основанная на применении матричного метода.

Представлены графики, характеризующие влияние погрешности формы базовой поверхности заготовки колеса на суммарную погрешность обработки многопериодной дорожки. Предложена оптимизация режимов обработки, снижающая и стабилизирующая силу резания. Представлена диаграмма наибольших значений суммарной погрешности обработки колеса с многопериодной дорожкой.

multi-period track. Optimization of processing modes, reducing and stabilizing the cutting force, is proposed. A diagram of the largest values of the total error of processing a wheel with a multi-period track is presented.

Объектом исследования является колесо с многопериодной дорожкой планетарной шариковой передачи, которая имеет небольшие массогабаритные характеристики, большие передаточные отношения в одной ступени, технологичную конструкцию [1–4]. На основе этой передачи можно построить многоступенчатые передаточные механизмы, используя модульный принцип сборки. Передачи данного типа используются в редуцирующих механизмах технологического оборудования машиностроительного производства. На рисунке 1 показана схема зацепления планетарной шариковой передачи.

На рисунке 1 показан входной вал 2 с отвер-

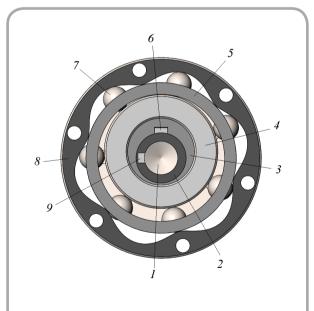


Рисунок 1 – Схема зацепления планетарной шариковой передачи

стием 1 и шпонкой 9 для соединения с приводом, эксцентрик 3 со шпонкой 6 и кольцо 4 ведущего звена; водило 5 и шары-сателлиты 7 ведомого звена; колесо 8 с многопериодной дорожкой неподвижного звена. При вращении ведущего звена, установленного эксцентрично, шары-сателлиты 7 обкатываются по однопериодной и многопериодной дорожкам кольца 4 и колеса 8 и передают вращение на водило 5, связанное с выходным валом передачи.

Актуальность исследований заключается в следующем. Точность изготовления поверхности многопериодной дорожки значительно влияет на плавность работы передачи, ее нагрузочную способность и ресурс работы. Для управления точностью при проектировании планетарных шариковых передач необходимо определить погрешности деталей, возникающие при изготовлении. Для этих передач не разработаны стандартные допуски на изготовление наиболее ответственной детали - колеса с многопериодной дорожкой. Поэтому актуальной задачей является разработка методов, позволяющих рассчитывать точность изготовления многопериодной дорожки при проектировании технологических процессов.

Целью исследования является разработка метода расчета погрешностей изготовления колес с многопериодными дорожками планетарных шариковых передач с определением случайных и систематических погрешностей, а также методики расчета, основанной на применении матричного метода, учитывающей смещения и повороты деталей с многопериодными дорожками при обработке на станке.

На основе математических зависимостей, представленных в [5], разработан метод расчета погрешностей изготовления наиболее ответственной детали передачи – колеса с многопериодной дорожкой. Метод заключается в определении случайных и систематических погрешностей, связанных с различными технологическими факторами, возникающими при изготовлении деталей, расчете и суммировании этих погрешностей с использованием законов распределения случайных величин теории вероятности и разработанных компьютерных программ в среде VBA Excel.

Точность параметра (размера, отклонения формы, расположения поверхностей) при изготовлении любой детали можно определить суммированием факторов, учитываемых при анализе исследуемого параметра.

Исследуемый параметр детали Y можно представить в виде функции нескольких переменных X_n

$$Y = f(X_1, ..., X_i, ...X_n)$$
 (1)

После изготовления деталей реальные значения параметров отличаются от идеальных (номинальных) на абсолютную погрешность

$$\Delta_i = (X_i - X_0), \qquad (2)$$

где Δ_i – абсолютная погрешность параметра после изготовления; X_i – реальное значение параметра; X_o – номинальное значение параметра.

При вероятностном методе расчёта параметры Y, Δ , являются случайными величинами.

Согласно [5, 6], если между погрешностями, рассматриваемыми попарно, существует вероятностная связь с коэффициентом корреляции ${m R}_{ij}$, то суммарная погрешность обработки определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (K_{i} S_{i} T_{i})^{2} + \sum_{\substack{i=1\\i \neq j}}^{n} \sum_{k=1}^{n} (K_{i} K_{j} S_{i} S_{j} T_{i} T_{j} R_{ij})}, \quad (3)$$

где \pmb{K} – коэффициент относительного рассеяния выходного параметра, корректирует суммарную погрешность для заданной гарантированной надежности; \pmb{n} – число параметров; \pmb{i} – индекс элементарной погрешности; \pmb{i} , \pmb{j} – индексы погрешностей с вероятностной связью, рассматриваемые попарно; \pmb{K}_i , \pmb{K}_j – коэффициенты относительного рассеяния входного параметра; \pmb{S}_i , \pmb{S}_j – абсолютная чувствительность функции цепи к изменению параметра или коэффициенты влияния, передаточные отношения; \pmb{T}_i , \pmb{T}_j – допуски параметров.

При этом коэффициент относительного рассеяния входного параметра \boldsymbol{K}_i характеризует отношение поля рассеяния погрешности при нормальном законе распределения к действительному полю рассеяния. Если элементарные погрешности, изменяющиеся во времени \boldsymbol{t} , являются случайными функциями времени (например, погрешность, связанная с износом инструмента), то суммарная погрешность обработки определяется по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left(K_{i}(t) S_{i} T(t)_{i} \right)^{2} + \sum_{\substack{i=1\\i \neq j}}^{n} \sum_{j=1}^{n} \left(K_{i}(t) K_{j}(t) S_{i} S_{j} T_{i}(t) T_{j}(t) R_{ij}(t) \right)}. (4)$$

Если принять независимость элементарных погрешностей и не учитывать их изменения во времени (оценивать конечное значение погрешностей), то при расчетах можно принять \boldsymbol{S}_i = 1. Тогда суммарную погрешность обработки можно рассчитать по формуле

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (K_i T_i)^2} . \tag{5}$$

Приведенный метод расчета позволяет определять погрешности положения обрабатываемого профиля относительно базовой поверхности детали для линейных размеров. По рекомендации [5] формулу (5) можно использовать для обработки заготовок на металлорежущих станках в обычных производственных условиях.

На основе рассмотренного выше метода разработаны формулы расчета суммарной погрешности обработки колеса с многопериодной дорожкой, характеризующие смещение заготовки

вдоль координатных осей станка. Формула расчета при независимых элементарных технологических погрешностях без учета их изменения во времени:

$$\Delta_{\Sigma} = \frac{1}{K} \sqrt{ (K_i \Delta_{\phi})^2 + \sum_{i=1}^{n} (K_i \Delta_{y})^2 + \sum_{i=1}^{n} (K_i \Delta_{\phi})^2 + (K_i \Delta_{n})^2 + (K_i \Delta_{n})^2} + \Delta_{T_*} (6)$$

где Δ_{ϕ} – погрешность формы установочной поверхности заготовки; Δ_{y} – погрешность установки, учитывающая точность базирования, закрепления заготовки, приспособления и его установки на станке; Δ_{θ} – погрешность от упругих деформаций, учитывающая деформации станка и инструмента; Δ_{u} – погрешность настройки станка; Δ_{u} – погрешность от износа режущего инструмента; Δ_{T} – погрешность от температурной деформации технологической системы.

Формула расчета суммарной погрешности обработки при независимых элементарных погрешностях с изменением во времени отдельных параметров:

При обработке заготовки могут быть не только смещены, но и повернуты в системе координат станка. Для определения погрешностей от смещений и поворотов деталей с многопериодными дорожками разработана методика расчета, основанная на применении матричного метода.

Для определения точности положения деталей в пространстве необходимо рассмотреть смещения и повороты системы координат детали в неподвижной базовой системе координат станка [7]. Выберем системы координат: \boldsymbol{X}_0 \boldsymbol{Y}_0 \boldsymbol{Z}_0 – базовая система координат станка; \boldsymbol{x}_{10} \boldsymbol{y}_{10} \boldsymbol{z}_{10} – базовая система координат, перенесенная в точку \boldsymbol{O}_1 Система координат обрабатываемой детали \boldsymbol{x}_{1i} \boldsymbol{y}_{1i} \boldsymbol{z}_{1i} , при поворотах на угол \boldsymbol{a} – \boldsymbol{x}_{11} \boldsymbol{y}_{11} \boldsymbol{z}_{11} , на угол $\boldsymbol{\beta}$ – \boldsymbol{x}_{12} \boldsymbol{y}_{12} \boldsymbol{z}_{12} , на угол $\boldsymbol{\gamma}$ – \boldsymbol{x}_{13} \boldsymbol{y}_{13} \boldsymbol{z}_{13} .

На рисунке 2 показана схема положения колеса с многопериодной дорожкой планетарной передачи в заданных системах координат в соответствии с [7].

Если известны значения координат a,b,c вектора смещения \overrightarrow{r} и значения координат a,β,γ (углов) вектора поворота ϕ в системе координат

$$\Delta_{\Sigma}(t) = \frac{1}{K} \sqrt{ (K_i \Delta_{\phi})^2 + \sum_{i=1}^{n} (K_i \Delta_{y})^2 + \sum_{i=1}^{n} (K_i \Delta_{\theta}(t))^2 + (K_i \Delta_{n}(t))^2 + (K_i \Delta_{u}(t))^2} + \Delta_{T}(t) . \quad (7)$$

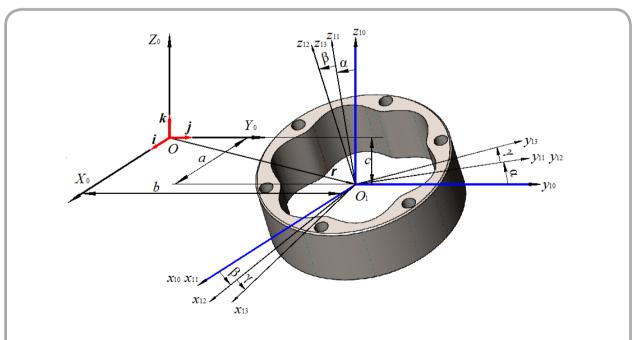


Рисунок 2 – Схема положения колеса с многопериодной дорожкой планетарной передачи

 $m{X}_0 \ m{Y}_0 \ m{Z}_0$, то можно определить координаты любой точки детали в системе координат $m{x}_{Ii} \ m{y}_{Ii} \ m{z}_{Ii}$ по ее координатам в системе $m{X}_0 \ m{Y}_0 \ m{Z}_0$ и наоборот. Для этого нужно построить матрицу преобразования пространства.

При повороте системы координат \boldsymbol{x}_{10} \boldsymbol{y}_{10} \boldsymbol{z}_{10} на угол a относительно оси \boldsymbol{x}_{10} в положительном направлении (против часовой стрелки) матрица \boldsymbol{A} поворота будет иметь вид:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & \sin\alpha \\ 0 & -\sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}. \tag{8}$$

Элементы этой матрицы представляют собой проекции единичных векторов i,j,k осей координат \boldsymbol{x}_{10} \boldsymbol{y}_{10} \boldsymbol{z}_{10} на оси координат \boldsymbol{x}_{11} \boldsymbol{y}_{11} \boldsymbol{z}_{11} (рисунок 2).

Если известны координаты x_{oN}, y_{oN}, z_{oN} некоторой точки N детали в системе координат X_o Y_o Z_o , то в системе координат x_{ii} y_{ii} z_{ii} координаты этой точки x_{iN}, y_{iN}, z_{iN} можно определить, умножив координаты x_{oN}, y_{oN}, z_{oN} на элементы матрицы A, расположенные в соответствующих строках. С учетом координат начала a, b, c получим

$$x_{1N} = (x_{0N} - a)a_{11} + (y_{0N} - b)a_{12} + (z_{0N} - c)a_{13}$$
, (9)

$$y_{1N} = (x_{0N} - a)a_{21} + (y_{0N} - b)a_{22} + (z_{0N} - c)a_{23}$$
, (10)

$$z_{1N} = (x_{0N} - a)a_{31} + (y_{0N} - b)a_{32} + (z_{0N} - c)a_{33}$$
, (11)

или, используя матричную запись

$$\begin{pmatrix} x_{1N} \\ y_{1N} \\ z_{1N} \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_{0N} - a \\ y_{0N} - b \\ z_{0N} - c \end{pmatrix}, \tag{12}$$

Координаты \pmb{x}_{oN} , \pmb{y}_{oN} , \pmb{z}_{oN} точки \pmb{N} в системе координат \pmb{X}_o \pmb{Y}_o \pmb{Z}_o по ее координатам \pmb{x}_{IN} , \pmb{y}_{IN} , \pmb{z}_{IN} определяются по формуле

$$\begin{pmatrix} x_{0N} \\ y_{0N} \\ z_{0N} \end{pmatrix} = A^T \begin{pmatrix} x_{1N} \\ y_{1N} \\ z_{1N} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \end{pmatrix} ,$$
 (13)

где A^T – транспонированная матрица.

Можно получить матрицы ${\pmb B}$ и ${\pmb C}$, если система координат ${\pmb x}_{10} \, {\pmb y}_{10} \, {\pmb z}_{10}$ повернута на угол ${\pmb \beta}$ относительно оси ${\pmb y}_{10}$ и на угол ${\pmb \gamma}$ вокруг оси ${\pmb z}_{10}$ в положительном направлении.

Если система координат x_{10} y_{10} z_{10} повернута на углы a,β,γ , то матрица K результирующего преобразования может быть представлена произведением матриц A,B,C:

$$K = \begin{pmatrix} \cos\beta\cos\gamma & \sin\alpha\sin\beta\cos\gamma + \cos\alpha\sin\gamma & -\cos\alpha\sin\beta\cos\gamma + \sin\alpha\sin\gamma \\ -\cos\beta\sin\gamma & -\sin\alpha\sin\beta\sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\sin\beta\sin\gamma + \sin\alpha\cos\gamma \\ \sin\beta & -\sin\alpha\cos\beta & \cos\alpha\cos\beta \end{pmatrix}. \ (14)$$

Полученные матрицы преобразования пространства позволяют определить координаты любой точки N детали передачи.

Рассмотренный матричный метод можно использовать для расчета погрешностей обработки, возникающих вследствие поворотов заготовки относительно системы координат станка при ее базировании, закреплении, а также из-за геометрических неточностей приспособлений и станков.

Если система координат детали x_{10} y_{10} z_{10} смещена и повернута относительно базовой системы координат X_0 Y_0 Z_0 , то погрешности положения детали Δx_0 Δy_0 Δz_0 относительно осей X_0 , Y_0 , Z_0 после преобразования могут быть определены по формуле, учитывая (13) и (14):

$$\begin{pmatrix} \Delta x_0 \\ \Delta y_0 \\ \Delta z_0 \end{pmatrix} = K^T \begin{pmatrix} x_{1_3} \\ y_{1_3} \\ z_{1_3} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_{1_3} - a \\ y_{1_3} - b \\ z_{1_3} - c \end{pmatrix}, \tag{15}$$

где $m{x}_{1s}, m{y}_{1s}, m{z}_{1s}$ – координаты точек обрабатываемой поверхности заготовки; $m{K}^T$ – транспонированная матрица.

Координаты точек профиля обрабатываемой криволинейной поверхности многопериодной дорожки определяются по формулам смещенной окружности [1]:

$$\begin{cases} x_{13} = \left(\sqrt{R^2 - A^2 \sin^2(z\phi)} + A\cos(z\phi)\right) \cos \phi \\ y_{13} = \left(\sqrt{R^2 - A^2 \sin^2(z\phi)} + A\cos(z\phi)\right) \sin \phi \\ z_{13} = H_3 \end{cases}$$
 (16)

где ho – радиус-вектор точки кривой; $m{R}$ – радиус окружности; $m{A}$ – величина смещения окружности, амплитуда многопериодной кривой; $m{z}$ – число периодов кривой; $m{\phi}$ – полярный угол; $m{H}_{s}$ – толщина обрабатываемой детали.

Суммарная погрешность обработки в торцовой плоскости детали

$$\Delta_{\Sigma}^{XY} = \sqrt{\Delta x_0^2 + \Delta y_0^2} \quad . \tag{17}$$

Суммарная погрешность обработки детали с учетом ее расположения в пространстве

$$\Delta_{\Sigma}^{XYZ} = \sqrt{\Delta x_0^2 + \Delta y_0^2 + \Delta z_0^2} \quad . \tag{18}$$

В таблице 1 показаны исходные данные для расчета суммарной погрешности чистовой обработки фрезерованием многопериодной дорожки колеса исследуемой планетарной шариковой передачи.

На рисунке 3 показана диаграмма наибольших значений суммарной погрешности, учитывающей смещение и повороты заготовки при обработке на станке, рассчитанной по приведенным выше формулам.

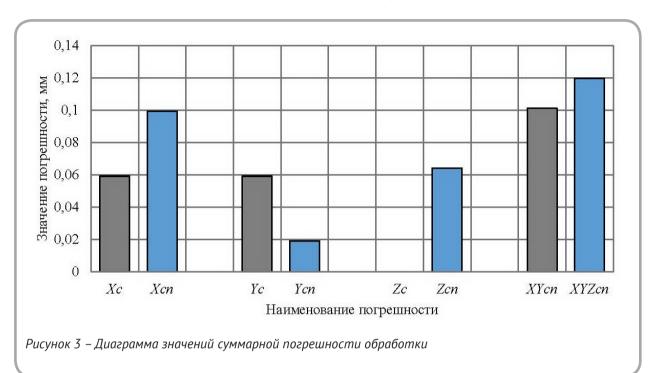
На рисунке 3 обозначены следующие параметры: X_c , Y_c , Z_c – наибольшие суммарные погрешности обработки, учитывающие смещение заготовки, вдоль координатных осей станка X_0 Y_0 Z_0 ; X_{cn} , Y_{cn} , Z_{cn} – наибольшие суммарные погрешности обработки, учитывающие смещение и повороты заготовки, вдоль координатных осей станка X_0 Y_0 Z_0 ; XY_{cn} , XYZ_{cn} – наибольшие суммарные погрешности обработки, учитывающие смещение и повороты заготовки в плоскости X_0Y_0 и в пространстве $X_0Y_0Z_0$. Погрешности на диаграмме можно рассматривать как отклонения формы и расположения заданного профиля дорожки на плоскости и в пространстве в системе координат станка.

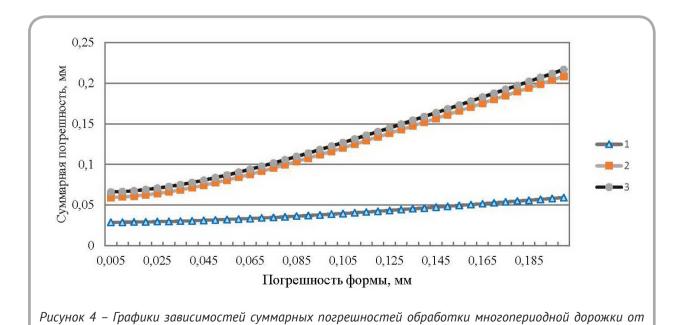
Таблица 1 – Исходные данные для расчета суммарной погрешности обработки фрезерованием многопериодной дорожки

Название параметра	Обозначение	Значение
Погрешность формы базовой поверхности заготовки	$arDelta_{oldsymbol{\phi}}$	0,016 мм
Погрешность установки заготовки	$arDelta_y$	0,05 мм
Погрешность от упругих деформаций станка и инструмента	$arDelta_{artheta}$	0,042 мм
Погрешность настройки станка	$\Delta_{_{\scriptscriptstyle{H}}}$	0,01 мм
Погрешность от износа инструмента	Δ_u	0,021 мм
Погрешность от температурных деформаций технологической системы	$\Delta_{\scriptscriptstyle T}$	$0,15\Delta_{\Sigma}$
Средний радиус дорожки	R	41,5 мм
Амплитуда дорожки	A	3,75мм
Радиус шара-сателлита	r_{u}	7,5 мм
Суммарный угол поворота вокруг оси $X_{\it o}$	а	0,00103 <i>pa∂</i>
Суммарный угол поворота вокруг оси $\boldsymbol{Y_o}$	β	0,00103 <i>pa∂</i>
Суммарный угол поворота вокруг оси $oldsymbol{Z}_o$	γ	0

При фрезеровании многопериодной дорожки заготовка колеса базируется в приспособлении на станке по наружной цилиндрической поверхности и торцу. Погрешность формы базовой цилиндрической поверхности заготовки (отклонение от круглости), полученная на предыдущей технологической операции, имеет соотношение

с допуском на размер в соответствии с установленными уровнями геометрической точности [7, 8]. После черновой обработки этот допуск может превышать все остальные технологические погрешности. На рисунке 4 показаны графики, характеризующие влияние погрешности формы цилиндрической поверхности заготовки на сум-





погрешности формы заготовки

марную погрешность обработки многопериодной дорожки.

На рисунке 4 график 1 характеризует тангенциальную погрешность, связанную только со смещением профиля многопериодной дорожки колеса при фрезеровании; график 2 характеризует погрешность радиального смещения дорожки из-за неточной установки заготовки; график 3 показывает суммарную (радиальную и тангенциальную) погрешности обработки многопериодной дорожки при разных значениях погрешности формы базовой поверхности заготовки.

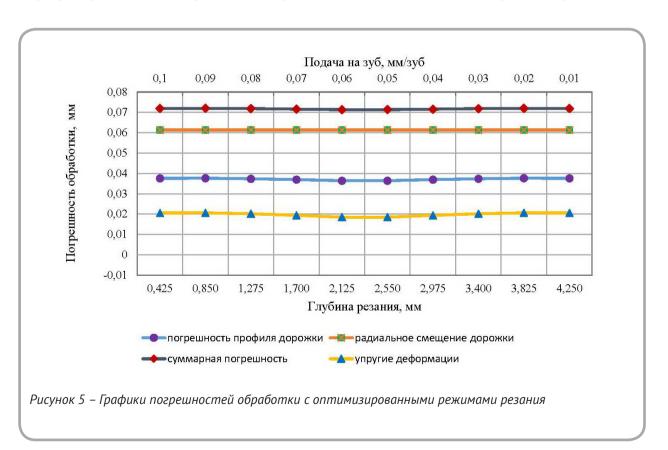
При обработке многопериодной дорожки возникают значительные погрешности от упругих деформаций станка и инструмента. Это связано со снятием неравномерного припуска при фрезеровании криволинейной поверхности. Заготовка колеса имеет предварительно обработанное центральное отверстие. Фреза при формообразовании дорожки, находясь в отверстии, углубляется в тело заготовки и снимает неравномерный припуск, перемещаясь вдоль профиля обрабатываемой поверхности. С увеличением припуска увеличиваются глубина и сила реза-

ния, а, соответственно, и смещения заготовки от упругих деформаций. Стабилизировать силу резания можно оптимизацией режимов обработки. Предложено уменьшать подачу на зуб фрезы с увеличением глубины резания при обработке многопериодной дорожки. Это можно достичь программированием режимов резания на станках с ЧПУ. На рисунке 5 показаны графики погрешностей обработки с оптимизированными режимами резания.

На графиках видно, что при оптимизированных значениях глубины резания и подачи упругие деформации мало изменяются, следовательно, погрешность от упругих деформаций значительно уменьшилась. При этом суммарная погрешность обработки также уменьшилась в сравнении со значениями на диаграмме (рисунок 3).

выводы

Разработан метод расчета погрешностей изготовления колес с многопериодными дорожками планетарных шариковых передач, который позволяет определить случайные и систематические технологические погрешности, рассчитать и



суммировать эти погрешности с использованием законов распределения случайных величин теории вероятности и разработанных компьютерных программ. На основе разработанного метода выведены формулы расчета суммарной погрешности обработки колеса, характеризующие его смещение вдоль координатных осей станка.

Разработана методика расчета, основанная на применении матричного метода, позволяющая определить погрешности обработки, возникающие в результате смещений и поворотов деталей с многопериодными дорожками. Получены матрицы преобразования пространства применительно к деталям с многопериодными дорожками, которые позволяют рассчитать координаты любой точки детали передачи. Разработанный матричный метод можно использовать для расчета погрешностей обработки, возникающих вследствие поворотов заготовки относительно системы координат станка при ее базировании, закреплении, а также из-за геометрических неточностей приспособлений и станков. В результате предложенных формул расчета получена диаграмма наибольших значений суммарной погрешности, учитывающей

смещение и повороты заготовки при обработке на станке.

Получены графики, характеризующие влияние погрешности формы базовой цилиндрической поверхности колеса на суммарную погрешность обработки многопериодной дорожки. Предложена оптимизация режимов резания для фрезерования многопериодной дорожки, которая заключается в подборе оптимальных соотношений параметров глубины резания и подачи, что позволило значительно уменьшить суммарную погрешность обработки и повысить точность изготовления.

Разработанные методы можно эффективно использовать в научных исследованиях и при проектировании технологических процессов изготовления колес с многопериодными дорожками планетарных шариковых передач. При этом, применяя предложенные методики, формулы расчетов погрешностей изготовления и зависимости, представленные на графиках, можно обеспечивать требуемую точность без привлечения затратных способов изготовления, а также управлять точностью и ее повышать, изменяя технологические параметры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Пашкевич, М. Ф., Пашкевич, В. М., Пашкевич, А. М., Чертков, С. В. (2003), Планетарные кулачково-плунжерные передачи. Проектирование, контроль и диагностика, Могилев: Белорусско-Российский университет, 221 с.
- 2. Лустенков, М. Е. (2016), Передачи с промежуточными телами качения: элементы теории и классификация, *Интеллектуальные системы в производстве*, 2016, № 4, С. 64–69.
- 3. Пашкевич, В. М. (2017), Автоматизация проектирования и испытаний редуцирующих механизмов на основе использования функциональных семантических сетей, *Вестик Белорусско-Российского университета*, 2017,

REFERENCES

- 1. Pashkevich, M. F., Pashkevich, V. M., Pashkevich, A. M., Chertkov, S. V. (2003), *Planetarnyye kulach-kovo-plunzhernyye peredachi. Proyektirovaniye, kontrol i diagnostika* [Planetary cam-plunger gears. Design, control and diagnostics], Mogilev: Belarusian-Russian University, 221 p.
- 2. Lustenkov, M. E. (2016), Transmissions with intermediate rolling bodies: elements of theory and classification [Peredachi s promezhutochnymi telami kacheniya: elementy teorii i klassifikaciya], Intellektual'nye sistemy v proizvodstve Intelligent systems in production, 2016, Nº 4, pp. 64–69.
- 3. Pashkevich, V. M. (2017), Automation of design and testing of reducing mechanisms based

№ 4, C. 50 – 59.

- 4. Сасковец, К. В., Капитонов, А. В., Лебедев, М. В. (2019), Новые конструкции и методы оценки точности планетарных радиально-плунжерных передач, *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*, 2019, № 1, С. 3–9.
- 5. Косилова, А. Г., Мещеряков, Р. Г. (1986), *Справочник технолога-машиностроителя*, Москва: Машиностроение, Т. 1, 655 с.
- 6. Капитонов, А. В., Пашкевич, В. М. (2020), Методы оценки точности малогабаритных планетарных передач с промежуточными телами качения, *Актуальные вопросы машиноведения*, 2020, С. 51–54.
- 7. Пашкевич, М. Ф., Мрочек, Ж. А., Кожуро, Л. М., Пашкевич, В. М. (2002), Технологическая оснастка: учебник для студентов машиностроит. специальностей вузов, Минск: Адукацыя і выхаванне, 320 с.
- 8. Жолобов, А. А. (2015), *Технология машиностроения: практикум: учеб. пособие*, Минск: Вышэйшая школа, 335 с.

- on the use of functional semantic networks [Avtomatizaciya proektirovaniya i ispytanij reduciruyushchih mekhanizmov na osnove ispol'zovaniya funkcional'nyh semanticheskih setej], *Vestnik Belorussko-Rossijskogo universiteta Bulletin of the Belarusian-Russian University*, 2017, Nº 4, pp. 50–59.
- 4. Saskovets, K. V., Kapitonov, A. V., Lebedev, M. V. (2019), New designs and methods for evaluating the accuracy of planetary radial plunger gears. [Novyye konstruktsii i metody otsenki tochnosti planetarnykh radialno-plunzhernykh peredach], *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo Bulletin of GSTU named after P.O. Sukhoi*, 2019, № 1, pp. 3–9.
- 5. Kosilova, A. G., Meshcheryakov, R. G. (1986), *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Handbook of a machine-building technologist], Moscow, Mechanical engineering, V. 1, 655 p.
- Kapitonov, A. V., Pashkevich, V. M. (2020), Methods for assessing the accuracy of small-sized planetary gears with intermediate rolling bodies [Metody ocenki tochnosti malogabaritnyh planetarnyh peredach s promezhutochnymi telami kacheniya], Aktual'nye voprosy mashinovedeniya – Topical issues of machine science, 2020, pp. 51–54.
- 7. Pashkevich, M. F., Mrochek, Zh. A., Kozhuro, L. M., Pashkevich, V. M. (2002), *Tekhnologicheskaya osnastka: uchebnik dlya studentov mashinostroit. spetsialnostey vuzov* [Technological equipment: textbook for students of engineering specialties of universities], Minsk: Education and upbringing, 320 p.
- 8. Zholobov, A. A. (2015), *Tekhnologiya mashinostro-yeniya: praktikum: ucheb. posobiye* [Mechanical Engineering technology: workshop: textbook], Minsk: High School, 335 p.

Статья поступила в редакцию 16. 04. 2022 г.

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТКАНЫХ ПОЛОТЕН

SUBSTANTIATION OF THE MEASUREMENT PARAMETERS OF THE TANGENTIAL RESISTANCE COEFFICIENT OF WOVEN FABRICS

УДК 677.016.671.3

Ю.И. Марущак¹*, К.А. Ленько¹, Н.Н. Ясинская¹, И.А. Петюль¹, И.М. Грошев^{1,2}

- ¹ Витебский государственный технологический университет
- ² ОАО «Витебскдрев»

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-53-67 **Yu. Maruschak^{1*}, K. Lenko¹, N. Yasinskaya¹,**

Yu. Maruschak¹*, K. Lenko¹, N. Yasinskaya¹, I. Petyul¹, I. Groshev^{1,2}

- ¹ Vitebsk State Technological University
- ² JSC «Vitebskdrev»

РЕФЕРАТ

ТУШЕ, СТАТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТАНГЕН-ЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ, КИНЕТИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТАНГЕНЦИАЛЬНОГО СОПРОТИВ-ЛЕНИЯ, МЕТОД ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ, МЕТОД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

На сегодняшний день отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен, с помощью которых можно было бы количественно оценить эффект после умягчения. Однако большинство исследователей утверждает, что для объективной оценки туше текстильных полотен после заключительной умягчающей отделки возможно использовать показатель коэффициента тангенциального сопротивления. Методы определения коэффициента тангенциального сопротивления разнообразны. В данной работе рассмотрен метод горизонтальной и наклонной плоскости.

Целью данной работы является определение рациональных параметров измерения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости, а именно выбор оптимального количества испытаний, исследование влияния площади контакта, скорости движения несущей плоскости на коэффициент тангенциального сопротивления текстильных полотен, а также проведение сравнения двух методик определения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости на приборе FPT-F1 и методом наклонной плоскости. В ходе исследования уста-

ABSTRACT

FEEL OF CLOTH, STATIC COEFFICIENT OF TANGENTIAL RESISTANCE, KINETIC COEFFICIENT OF TANGENTIAL RESISTANCE, HORIZONTAL PLANE METHOD, INCLINED PLANE METHOD

To date, there are no objective methods for evaluating the feel of cloth, with which it would be possible to quantify the effect after softening. However, most researchers argue that for an objective assessment of the feel of cloth after the textile softening finishing, it is possible to use the index of the tangential resistance coefficient. Methods for determining the coefficient of tangential resistance are varied. In this paper, we considered the method of horizontal and inclined plane.

The purpose of this work is to determine the rational parameters for measuring the tangential resistance coefficient by the horizontal plane method, namely, the choice of the optimal number of tests, the study of the influence of the contact area, the speed of the carrier plane on the tangential resistance coefficient of textile fabrics, and also to compare two methods for determining the tangential resistance coefficient using the horizontal plane method on the FPT-F1 device and by the inclined plane method. The study found that for the reliability of the results it is necessary to measure the tangential resistance coefficient at least 13 times, taking into account the last three values. The dependence of the coefficient of tangential resistance on the contact area and the speed of movement of the carrier plane is established. It is

^{*} E-mail: tonk.00@mail.ru (Yu. Maruschak)

новлено, что для достоверности результатов необходимо проводить измерение коэффициента тангенциального сопротивления не менее 13 раз, принимая во внимание последние три значения. Установлена зависимость коэффициента тангенциального сопротивления от площади контакта и скорости перемещения несущей плоскости. Сделан вывод, что для тканых полотен рекомендуется использовать колодку размером 65х120 мм. Опытным путем установлено, что для повышения чувствительности метода горизонтальной плоскости при определении коэффициента тангенциального сопротивления тканых полотен рекомендуется устанавливать скорость 150-200 мм/мин. Результаты сравнения двух методов показали, что коэффициент тангенциального сопротивления – величина не постоянная и зависит от применяемого метода. concluded that for woven fabrics it is recommended to use a block with a size of 65x120 mm. It has been experimentally established that in order to increase the sensitivity of the horizontal plane method when determining the coefficient of tangential resistance of woven fabrics, it is recommended to set the speed to 150–200 mm/min. The results of comparing the two methods showed that the tangential resistance coefficient is not a constant value and depends on the method used.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время требования к повышению качества текстильной продукции белорусского производства для внедрения на мировой рынок приводят к необходимости придания специальных свойств на этапе заключительной отделки тканей, улучшающих их потребительские и эксплуатационные характеристики.

В системе оценки качества материалов и изготавливаемых из них швейных изделий отдельное место отводится показателям художественно-эстетических свойств материалов, таких как блеск, фактура поверхности, туше или гриф. Они оказывают эмоционально-эстетическое воздействие на человека при органолептическом восприятии с помощью зрения и осязания. Туше – впечатление, возникающее от осязания материала. Для придания тканям приятного туше проводят обработку хлопчатобумажных и льняных тканей препаратами текстильной химии. Так, в последние годы авторами ведутся исследования по аппретированию текстильных материалов силиконовыми мягчителями и ферментсодержащими композициями, в ходе которых полотна и изделия приобретают дополнительную гладкость [1].

Однако на сегодняшний день в Республике Беларусь отсутствуют объективные методы оценки туше текстильных полотен, с помощью которых можно было бы количественно оценить эффект после умягчения, но большинство исследователей утверждает, что для описания туше необходимо учитывать поведение текстильного изделия при трении.

В Японии на кафедре химии полимеров Киотского университета группой под руководством профессора Кавабата была разработана система оценки Кавабата, которая представляет собой серию инструментов, используемых для измерения тех свойств текстильных материалов, которые позволяют прогнозировать эстетические качества, воспринимаемые человеческим прикосновением [2]. Данная система также рассматривает трение как один из показателей, влияющих на туше материала.

И. В. Крагельский и А. Б. Пакшвер относят трение волокнистых материалов к трению сухих твердых тел. Трением сухих тел называется такое, при котором между трущимися телами отсутствует слой смазки [3].

В текстильном материаловедении под трением понимают сопротивление, возникающее при относительном перемещении в плоскости ка-

сания двух соприкасающихся тел, находящихся под действием нормальной нагрузки [4]. В том случае, если нагрузка равна нулю, то и трение считается равным нулю.

Благодаря наличию на поверхности текстильных полотен грубых неровностей при относительном перемещении двух соприкасающихся текстильных поверхностей даже в случае нулевой нормальной нагрузки возникает сопротивление, характеризуемое силой цепкости [5]. Таким образом, когда нагрузка равна нулю, цепкость не равна нулю, а представляет собой конечную величину.

Для текстильных материалов свойственно одновременное проявление трения и цепкости. Сопротивление, возникающее при совместном проявлении трения и цепкости, называется тангенциальным сопротивлением [3]. Основной характеристикой тангенциального сопротивления является коэффициент тангенциального сопротивления (далее – КТС). В настоящее время данный показатель не нормируется, но важен для конфекционирования материалов.

Для текстильных изделий силы трения и цепкость имеют большое значение. В процессах швейного производства ткани соприкасаются друг с другом, а также с поверхностью других материалов, находящихся в состоянии относительного покоя или движения, особенно при настилании и раскрое. При этом силы трения могут оказывать существенное влияние на ход технологического процесса. Так, при раскрое и стачивании деталей одежды ткани с низким КТС легко смещаются, что вызывает необходимость применять при массовом раскрое бумажные простилки, линейки с шипами, зажимы. Например, шелковые ткани имеют особенно низкий КТС.

Немаловажное значение в эксплуатации одежды имеют силы трения и цепкости материалов: они влияют на качество изделий и удобство пользования ими. Например, подкладочные ткани должны обладать хорошим скольжением, то есть пониженным КТС, для удобства надевания и снятия одежды, для лучшей стойкости к истиранию. Чем меньше КТС, тем лучше сохраняется внешний вид ткани, больше носкость изделия [6].

Различают статический и кинетический коэффициент тангенциального сопротивления. Статический или начальный коэффициент тангенциального сопротивления (f_{em}) связан с измеренной силой, необходимой для начала движения одной поверхности по другой. Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления или коэффициент трения скольжения (f_{κ}) связан с силой, необходимой для поддержания такого движения [7]. Коэффициент тангенциального сопротивления для различных тканей варьируется в диапазоне от 0,3–1,0 [8], причем кинетический коэффициент меньше статического.

Методы определения тангенциального сопротивления и коэффициента тангенциального сопротивления текстильных изделий весьма разнообразны. Практически для этой цели в различных работах использовано свыше десятка разнообразных устройств [3]. В данной работе остановимся на рассмотрении метода горизонтальной и наклонной плоскости.

Существенное влияние на результаты экспериментов по определению КТС оказывают скорость движения поверхностей, волокнистый состав, плотность, переплетение материала, окончательная отделка изделий, температура, влажность и т. д. [9]. Также из литературных источников [9] известно, что на определение показателя сильное влияние оказывает площадь контакта материалов.

Таким образом, целью данной работы является определение рациональных параметров измерения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости, а именно выбор оптимального количества испытаний, исследование влияния площади контакта, скорости движения несущей плоскости на коэффициент тангенциального сопротивления текстильных полотен, а также проведение сравнения двух методик определения коэффициента тангенциального сопротивления методом горизонтальной плоскости на приборе FPT-F1 и методом наклонной плоскости.

Объект и предмет исследования

Предмет исследования – методика оценки туше текстильных полотен методом горизонтальной плоскости, с помощью которой можно было бы количественно оценить эффект после умягчения.

В качестве объекта для исследований была выбрана отбеленная хлопчатобумажная ткань (арт. 857) производства ОАО «Барановичское

производственное хлопкопрядильное объединение» (Республика Беларусь) постельного назначения поверхностной плотностью $134 \ z/m^2$.

Ткань подвергли умягчению периодическим способом с применением эмульсии производства ООО «Фермент» (Республика Беларусь). Компания недавно вышла на рынок текстильновспомогательных веществ, но предлагает широкий спектр силиконовых мягчителей и ферментных препаратов для обработки текстильных материалов. Ранее авторами была определена эффективность использования ферментных препаратов в составе аппрета и зависимость потребительских характеристик от состава аппрета и способа обработки. Анализ полученных результатов показал, что гидрофильная эмульсия «Силиксол RG-810/36+Ц300» из исследуемых препаратов является наиболее эффективной для повышения драпируемости и придания дополнительной гладкости хлопчатобумажным тканям [10]. Таким образом, для исследований была выбрана эмульсия «Силиксол RG-810/36+Ц300» с ферментным препаратом «Целлюлаза» активностью $300 \ e \partial/z$ в составе концентрацией 0, 10, 50, 100 z/π .

На рисунке 1 представлена схема обработки хлопчатобумажной ткани.

Методики исследований

Существуют различные методики определения коэффициента тангенциального сопротивления, отличающиеся видом движения (поступательное или вращательное) и характером перемещения контактирующих поверхностей.

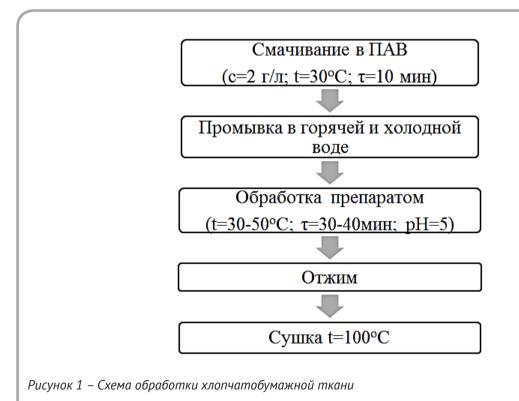
Профессор И. В. Крагельский предложил классификацию, базирующуюся на характере относительного перемещения поверхностей. Эта классификация была дополнена Н. В. Хвальковским и П. А. Алешиным.

Согласно данной классификации, приборы и методы делятся по принципу перемещения вза-имодействующих тел на четыре группы:

- I поступательное перемещение плоскостей;
- II вращательное перемещение плоскостей;
- III плоскость соприкасается с образующей цилиндрической поверхности;

IV – две цилиндрические поверхности соприкасаются при их относительном перемещении [9].

Наиболее часто встречаются приборы, работающие по принципу поступательного движения,



ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2022, № 1 (42)

так как данный способ прост в реализации. В данной работе применяли метод горизонтальной и наклонной плоскости.

В данном исследовании использовали прибор FPT-F1, область применения которого распространяется на измерение коэффициентов статического и кинетического трения текстиля. Прибор оснащен специальным программным обеспечением labthink FPT-F1 для регистрации, обработки и отображения результатов измерения.

На рисунке 2 представлена фотография данного прибора.

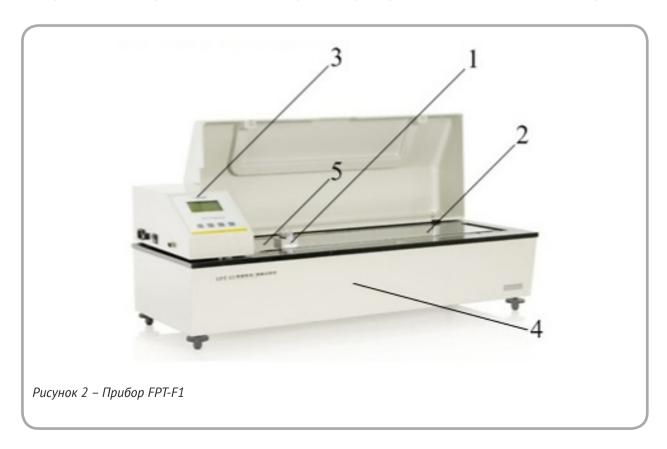
Прибор (рисунок 2) оснащен тензодатчиком, расположенным в коробке 3, с помощью которого снимаются показания силы трения. Электродвигатель 4 обеспечивает движение несущей плоскости с постоянной скоростью. Технические характеристики прибора позволяют тестировать образцы на скоростях от 50 до 500 *мм/мин*.

Испытуемые образцы, располагаемые на несущей плоскости 2, вырезали в направлении основы и утка так, чтобы их длина в этом направлении составляла 380 *мм*, а ширина – 105 *мм*. Несущая плоскость представляла собой полиро-

ванный лист из дюралюминия 120х400х6 мм. Длина образца, предназначенного для фиксации на колодке 1, составляла 200 мм, а ширина – 90 мм. Масса колодки \textit{m}_k = (200 ± 5) z. С помощью односторонней липкой ленты закрепляли образцы на несущей плоскости и колодке. Конец нейлоновой нити 5 крепили к рым-болту колодки с закрепленным на ней образцом. Включали механизм передвижения, предварительно отрегулированный на заданную скорость.

Значение силы регистрируется автоматически с помощью программного обеспечения labthink FPT-F1, на экране персонального компьютера отображается график изменения силы в процессе перемещения испытываемого образца (рисунок 3).

Одним из простейших методов определения КТС является наклонная плоскость. Схема прибора, с помощью которого реализуется данный метод, представлена на рисунке 4. Пробу 4 материала размещают на подвижной плоскости и закрепляют зажимом 1. Ко второму концу пробы подвешивают груз массой 5 κz и закрепляют зажимом 5. Элементарной пробой 3 материала размером 50х150 mm обтягивают колодку номе-



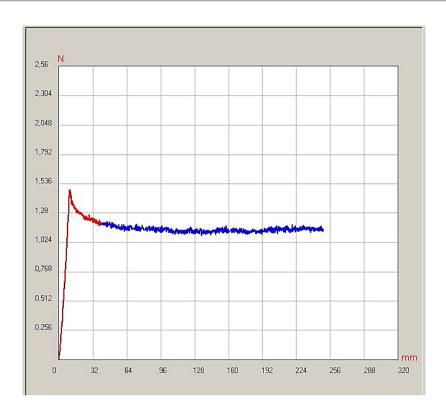


Рисунок 3 – График зависимости силы от перемещения образца

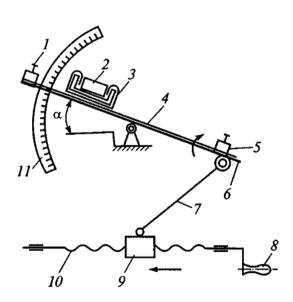


Рисунок 4 — Определение КТС по методу наклонной плоскости: 1 — неподвижный зажим; 2 — колодка; 3 — малая проба; 4 — большая проба; 5 — подвижный зажим; 6 — подвижная плоскость; 7 — тяга; 8 — рукоятка; 9 — гайка; 10 — винт; 11 — шкала

ром 50х50 *мм* и массой 220 г. Колодку помещают на горизонтально расположенную плоскость. Вращая плавно рукоятку, перемещают гайку по винту и посредством тяги изменяют угол наклона плоскости. В момент начала движения колодки по шкале определяют угол а наклона плоскости, тангенс которого является коэффициентом тангенциального сопротивления [3].

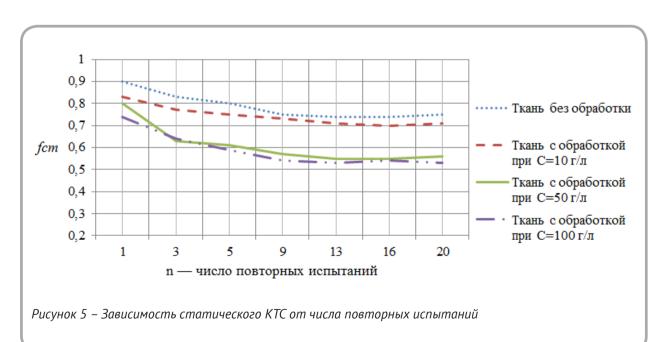
Однако метод наклонной плоскости имеет существенные недостатки: переменное давление и скорость перемещения каретки.

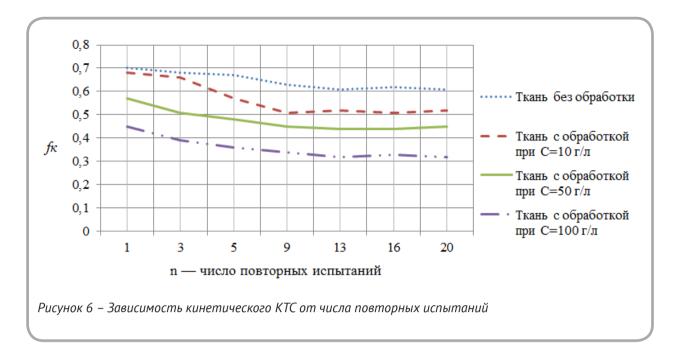
Экспериментальные исследования и обсуждение результатов

При трении по мере притирания поверхностей происходит падение коэффициента тангенциального сопротивления, причем процесс носит затухающий характер [3]. Необходимо обоснованно выбрать минимально возможный объем испытаний, чтобы, с одной стороны, обеспечить необходимую достоверность, а с другой – экономичность.

В соответствии с методикой проведения испытаний были получены результаты измерений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной при различных концентрациях препарата. На рисунке 5 и 6 представлена зависимость статического и кинетического КТС от числа повторных испытаний.

Анализ ряда 20 последовательных измерений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления показал, что после 10-го измерения у всех образцов значения получаемых результатов практически не изменяются, что численно отражается оценкой среднего квадратического отклонения (СКО) величины. Принимая во внимание, что на измеряемую величину оказывает влияние множество случайных факторов, под влиянием которых ее распределение будет вероятно нормальным, и выполненное небольшое количество измерений, можно определить требуемое количество результатов измерений для заданной величины погрешности (неопределенности) и уровня доверительной вероятности с помощью параметра Стьюдента. В проведенном эксперименте СКО статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления, рассчитанное по трем измерениям (10-е, 11-е и 12-е), равны и составили 0,0058. При такой характеристике разброса для получения значений статического и кинетического коэффициентов тангенциального сопротивления с погрешностью не более 0.02 вполне достаточно проведения трех измерений (при значении параметра Стьюдента t_{n} = 4,3 при доверительной вероятности **P**= 0.95 [11] расчетное количество результатов измерений составит n = 1,6). Таким образом, для





получения результата с погрешностью не более 0,02 при \mathbf{P} = 0,95 достаточно проведения 12 измерений на одном образце, из которых первые 9 необходимо отбросить, а за результат измерения принять среднее значение из трех последних в ряду измерений.

Анализируя нормативно-техническую базу документов, устанавливающих требования к методу горизонтальной плоскости, было определено, что для полимерных пленок оптимальным вариантом колодки является квадратная пластина со стороной 65 mm и массой $m_b = (200\pm5)$ г [7]. Исходя из этого в целях исследования была выбрана колодка 1 с соответствующими размерами, изготовленная из стали. Для исследования влияния площади контакта на коэффициент тангенциального сопротивления в качестве колодки 2 была выбрана прямоугольная пластина из дюралюминия, размеры которой 65х120 мм обеспечивают требуемую массу m_{b} = (200±5) \mathbf{z} , которая признана оптимальной. Толщина обеих колодок составляет 6 мм.

Включали механизм передвижения, предварительно отрегулированный на заданную скорость. Технические характеристики прибора позволяют тестировать образцы на различных скоростях. Для полимерных пленок оптимальным вариантом скорости перемещения несущей плоскости является 100–150 *мм/мин* [7], таким образом, для определения влияния площади ко-

лодки на коэффициент тангенциального сопротивления принято решение установить скорость перемещения плоскости 100 *мм/мин*.

Определение коэффициента тангенциального сопротивления тканей на приборе FPT-F1 представлено на рисунке 7.

Вследствие сил трения между контактирующими поверхностями колодка и движущаяся несущая плоскость оставались неподвижными относительно друг друга до тех пор, пока сила, сдвигающая колодку, не превысила силу статического трения между поверхностями. Отметили это максимальное первоначальное значение силы как силу, являющуюся компонентом статического коэффициента трения. С помощью программного обеспечения к прибору регистрируется среднее значение силы при равномерном движении поверхностей относительно друг друга на расстоянии 250 мм. Эта сила равна кинетической силе, необходимой для поддержания движения поверхностей относительно друг друга.

Статический коэффициент тангенциального сопротивления рассчитывали по формуле:

$$f_{cm} = \frac{F_{cm}}{m_k g} \quad , \tag{1}$$



Рисунок 7 – Определение коэффициента тангенциального сопротивления тканей на приборе FPT-F1

где \pmb{F}_{cm} – сила, соответствующая началу движения, \pmb{H} ; \pmb{m}_k – масса колодки, \pmb{z} ; \pmb{g} – ускорение свободного падения, принимаемое равным $9.81~\pmb{m/c^2}$.

Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления рассчитывали по формуле:

$$f_{\kappa} = \frac{F_{\kappa}}{m_{\kappa} g} , \qquad (2)$$

где \boldsymbol{F}_{κ} – среднее значение силы, соответствующее равномерному скольжению поверхностей относительно друг друга, \boldsymbol{H} .

Гистограмма зависимости статического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной разными концентрациями мягчителя от площади колодки, представлена на рисунке 8. Гистограмма зависимости кинетического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани от площади колодки представлена на рисунке 9.

Согласно полученным результатам испытаний, при увеличении площади контакта (увеличении площади колодки), коэффициенты тангенциального сопротивления хлопчатобумажной

ткани повышаются. Следовательно, для необработанных хлопчатобумажных тканей и обработанных в мягчителе рекомендуется использовать колодку размером 65х120 *мм*, так как при увеличении площади контакта текстильных материалов повышается чувствительность метода, о чем свидетельствует наибольшая разность в коэффициентах тангенциального сопротивления образцов, обработанных при различных концентрациях силиконового мягчителя.

Для определения влияния скорости перемещения несущей плоскости исследования проводили с использованием колодки размером 65×120 *мм*. Независимо от того, что для полимерных пленок оптимальным вариантом скорости перемещения несущей плоскости является 100-150 *мм/мин* [5], для исследования коэффициента тангенциального сопротивления текстильных материалов при различных скоростях были выбраны следующие скорости: $v_1 = 100$ *мм/мин*, $v_2 = 150$ *мм/мин*, $v_3 = 200$ *мм/мин*, $v_4 = 300$ *мм/мин*, $v_5 = 500$ *мм/мин*.

В таблице 1 и 2 представлена зависимость статического и кинетического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани от скорости движения несущей плоскости.

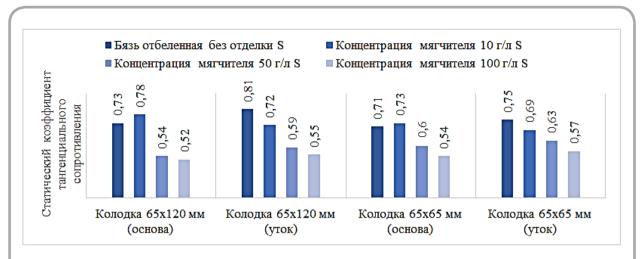


Рисунок 8 – Статический коэффициент тангенциального сопротивления при различной площади контакта текстильных материалов

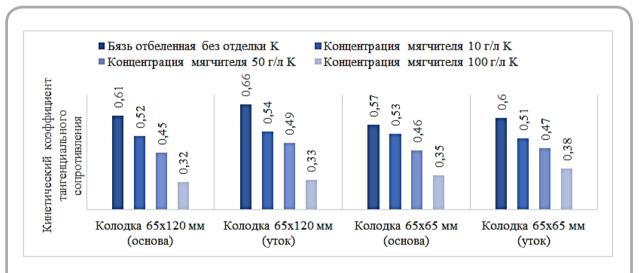


Рисунок 9 – Кинетический коэффициент тангенциального сопротивления при различной площади контакта текстильных материалов

Анализируя данные (таблицы 1 и 2), можно сделать вывод, что скорость перемещения несущей плоскости оказывает некоторое влияние на коэффициент тангенциального сопротивления и при увеличении скорости коэффициенты статического и кинетического тангенциального сопротивления у всех образцов незначительно увеличиваются. Для хлопчатобумажных тканей можно рекомендовать проведение измерений при скорости 300 *мм/мин*, так как при данной скорости наблюдается максимальный диапазон

изменения результатов измерений КТС, о чем свидетельствует наибольшая разность КТС образцов без обработки и с концентрацией обработки $100\ z/\pi$.

Аналогично обработанные образцы испытывали на приборе УО «ВГТУ» (рисунок 10), принцип работы которого основан на методе наклонной плоскости.

Для метода наклонной плоскости использовали аналогичные колодки 1 и 2, что и при методе горизонтальной плоскости. На по-

Таблица 1 – Зависимость статического КТС от скорости движения несущей плоскости

Nº	Образец с обработкой	Скорость перемещения несущей плоскости, мм/мин					
IN-	при концентрации, $\it r/n$	100	150	200	300	500	
				по основе			
1	без обработки	0,72	0,73	0,75	0,79	0,80	
2	10	0,71	0,72	0,72	0,73	0,75	
3	50	0,54	0,54	0,55	0,57	0,58	
4	100	0,50	0,51	0,51	0,52	0,54	
				по утку			
1	без обработки	0,81	0,84	0,85	0,87	0,88	
2	10	0,79	0,79	0,80	0,83	0,84	
3	50	0,59	0,59	0,59	0,61	0,61	
4	100	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	

Таблица 2 – Зависимость кинетического КТС от скорости движения несущей плоскости

Nº	Образец с обработкой	Скорость перемещения несущей плоскости, мм/мин					
IN-	при концентрации, $\it r/n$	100	150	200	300	500	
				по основе			
1	без обработки	0,61	0,61	0,63	0,66	0,67	
2	10	0,60	0,60	0,60	0,62	0,64	
3	50	0,45	0,45	0,45	0,47	0,49	
4	100	0,31	0,31	0,32	0,33	0,35	
				по утку			
1	без обработки	0,66	0,68	0,71	0,72	0,76	
2	10	0,64	0,64	0,66	0,68	0,70	
3	50	0,49	0,49	0,49	0,50	0,51	
4	100	0,34	0,34	0,36	0,38	0,38	

движной платформе 1, расположенной горизонтально, закрепляли образец 2 с размерами 380×105 *м.м.* Вторым образцом 3 с размерами 90×200 *м.м.* обтягивали колодку, и помещали ее на горизонтальную плоскость. Угол наклона плоскости вращением рукоятки 5 изменяли до тех пор, пока колодка с материалом не сдвинулась с места и не начала скользить вниз. В момент начала движения колодки фиксировали угол наклона плоскости γ с помощью линейки 4 с точностью до 1° [12, 13].

Значение статического КТЧ определялось по формуле:

$$f_{cm} = \frac{T}{N} = \frac{Gsina}{Gcosa} = tga , \qquad (3)$$

где T – сила тангенциального сопротивления; N – величина нормального давления; α – угол наклона плоскости, при котором начинается перемещение колодки; G – вес каретки.

Гистограмма зависимости статического коэффициента тангенциального сопротивления хлопчатобумажной ткани, обработанной разными концентрациями мягчителя от площади колодки, представлена на рисунке 11.

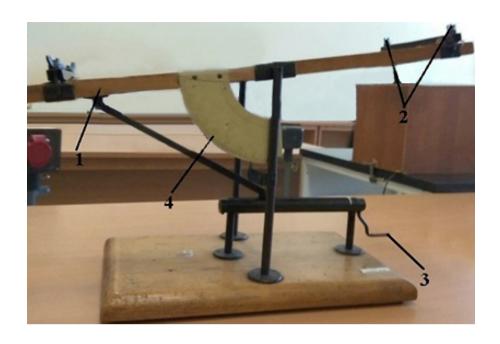


Рисунок 10— Прибор для определения коэффициента тангенциального сопротивления методом наклонной плоскости УО «ВГТУ»: 1— подвижная платформа; 2— винтовые зажимы; 3— рукоятка; 4— линейка

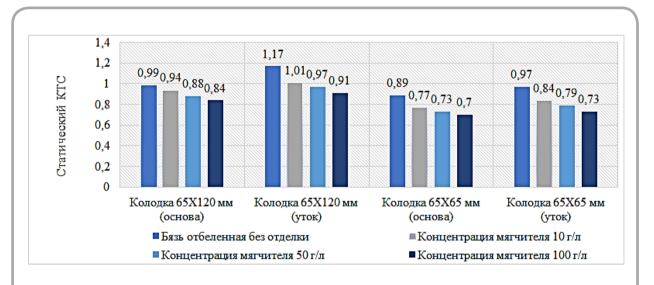


Рисунок 11 – Статический коэффициент тангенциального сопротивления при методе наклонной плоскости

Анализируя гистограммы, представленные на рисунке 11, можно сделать вывод, что методика наклонной плоскости позволяет определить разность коэффициентов материалов, обрабо-

танных при различной концентрации препарата. Наблюдается увеличение коэффициента тангенциального сопротивления при увеличении площади контакта трущихся поверхностей (пло-

щади колодки). Эта же тенденция наблюдалась и при методе горизонтальной плоскости. Для метода наклонной плоскости рекомендуется использовать колодку размерами 65х120 *мм*, так как при данных параметрах повышается чувствительность метода, о чем свидетельствует большая разность КТС.

Сравнивая гистограммы, полученные на рисунках 8 и 11, можно заметить, что числовые значения статических коэффициентов тангенциального сопротивления различны. Коэффициент тангенциального сопротивления – величина непостоянная и зависит от применяемого метода испытания и от площади используемой колодки. В отношении кинетического КТС также играет роль скорость перемещения несущей плоскости, которая влияет на значение коэффициента. ВЫВОДЫ

- 1. При определении коэффициента тангенциального сопротивления полотен рекомендуется выполнить 12 измерений, первые 9 измерений не следует учитывать, так как из-за притирания поверхностей силы трения меняются. За конечный результат измерения следует принять среднее значение трех последних измерений, что обеспечит погрешность определения КТС не более 0.02 с вероятностью P = 0.95.
- 2. Установлено, что при увеличении площади контакта текстильных материалов расширяется диапазон, в котором находятся результаты измерений КТС образцов с различными кон-

центрациями, поэтому при реализации метода горизонтальной или наклонной плоскости для необработанных хлопчатобумажных тканей и обработанных в мягчителе рекомендуется использовать колодку размером 65х120 *мм*.

- 3. Для хлопчатобумажных тканей рекомендуется устанавливать скорость перемещения несущей плоскости 300 мм/мин, так как с увеличением скорости расширяется диапазон, в котором находятся результаты измерений КТС образцов с различными концентрациями.
- 4. Метод горизонтальной плоскости и метод наклонной плоскости может быть применен для оценки эффекта после умягчения текстильных полотен силиконовыми мягчителями и ферментсодержащими композициями. Коэффициент тангенциального сопротивления величина непостоянная и зависит от применяемого метода, площади используемой колодки и скорости ее перемещения, поэтому сравнивать значения, полученные различными методами, недопустимо.

Данный инструментальный метод определения КТС и предлагаемые параметры проведения измерения могут быть использованы в качестве альтернативы органолептической оценке внешнего вида поверхности тканей (грифа), что повышает точность и объективность оценки получаемых при обработке эффектов.

Исследования проведены в условиях центральной заводской лаборатории открытого акционерного общества «Витебскдрев».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Котко, К.А., Ясинская, Н.Н., Скобова, Н.В. (2020), Экотехнология умягчения хлопкольняных махровых изделий, *Дизайн и технологии*, 2020, № 73, С. 53–59.
- 2. Kawabata Evaluation System (2022), доступно по адресу: https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/kawabata-evaluationsystem/ (по состоянию на 11 апреля 2022 г.).

REFERENCES

- 1. Kotko, K. A., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2020), Eco-technology for softening cotton terry products [Ekotekhnologiya umyagcheniya hlopkol'nyanyh mahrovyh izdelij], *Design and Technology*, 2020, № 73, p. 53–59.
- 2. Kawabata Evaluation System (2022), available at: https://textiles.ncsu.edu/tpacc/comfort-performance/kawabata-evaluation-system/ (accessed April 11, 2022).

- 3. Кукин, Г. Н. (1989), *Текстильное материалове- дение (волокна и нити*), Москва, 352 с.
- 4. Шустов, Ю. С. (2007), *Основы текстильного материаловедения*, Москва, 302 с.
- 5. Стельмашенко, В. И., Розаренова, Т. В. (2019), Материалы для одежды и конфекционирование, Москва, 308 с.
- 6. Технологические свойства тканей (2012), доступно по адресу: https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel_3/6_svojstva_tkanej/66-1-0-808 (по состоянию на 11 апреля 2022 г.).
- 7. ГОСТ 27492-87. Материалы электроизоляционные полимерные пленочные и листовые. Метод определения коэффициентов трения, Введ. 1989-01-01, Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 1988, 12 с.
- 8. Бузов, Б. А. (2004), Практикум по материаловедению швейного производства, Москва, 416 с.
- 9. Флегонтов, А. Н. (2014), *Разработка методов* оценки и прогнозирования тангенциального сопротивления льняных тканей, автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.19.01 материаловедение производств текстильной и легкой промышленности, Кострома, 2014, Костромской государственный университет, 16 с.
- 10. Марущак, Ю. И., Ясинская, Н. Н., Петюль, И. А., Ленько, К. А. (2022), Исследование туше хлопчатобумажных текстильных материалов после умягчающей отделки ферментсодержащими композициями, материалы Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием «Интекс-2022», Москва, 2022, С. 81–85.
- 11. Пронкин, Н. С. (2007), Практикум по метрологии и измерениям, Москва, 392 с.

- 3. Kukin, G. N. (1989), *Tekstil'noe materialovedenie* (volokna i niti) [Textile materials science (fibers and threads)], Moscow, 352 p.
- 4. Shustov, Yu. S. (2007), *Osnovy tekstil'nogo materialovedeniya* [Fundamentals of textile materials science], Moscow, 302 p.
- 5. Stelmashenko, V. I., Rozarenova, T. V. (2019), *Materialy dlya odezhdy i konfekcionirovanie* [Clothing materials and packaging], Moscow, 308 p.
- 6. Technological properties of fabrics (2012), available at: https://shei-sama.ru/publ/materialy/razdel_3/6_svojstva_tkanej/66-1-0-808 (accessed April 11, 2022).
- 7. GOST 27492-87. *Electrical insulating polymer film* and sheet materials. Method for determining the coefficients of friction, Vved. 1989-01-01, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus, Minsk, 1988, 12 p.
- 8. Buzov, B. A. (2004), *Praktikum po materialovede-niyu shvejnogo proizvodstva* [Workshop on materials science of garment production], Moscow, 416 p.
- 9. Flegontov, A. N. (2014), Razrabotka metodov ocenki i prognozirovaniya tangencial'nogo soprotivleniya l'nyanyh tkanej [Development of methods for assessing and predicting the tangential resistance of linen fabrics], abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.19.01 materials science of textile and light industry, Kostroma, 2014, Kostroma State University, 16 p.
- 10. Marushchak, Yu. I., Yasinskaya, N. N., Petyul, I. A., Lenko, K. A. (2022), Study of the touch of cotton textile materials after a softening finish with enzyme-containing compositions [Issledovanie tushe hlopchatobumazhnyh tekstil'nyh materialov posle umyagchayushchej otdelki ferment-soderzhashchimi kompoziciyami], materials of the All-Russian Scientific Conference of Young

- 12. Марущак, Ю. И., Ленько, К. А., Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2021), Методика оценки тангенциального сопротивления тканей после умягчающей отделки, тезисы докладов ІІ Всероссийской научной студенческой конференции, Москва, 2021, С. 42.
- 13. Шпачкова, А. В., Андреева, Е. Г., Чижова, Н. В. (2016), Методы определения свойств материалов для швейной промышленности, *Инновации и инвестиции*, 2016, № 8, С 105–109.
- Researchers with International Participation "Intex-2022", Moscow, 2022, p. 81–85.
- 11. Pronkin, N. S. (2007), *Praktikum po metrologii i izmereniyam* [Workshop on metrology and measurements], Moscow, 392 p.
- 12. Marushchak, Yu. I., Lenko, K. A., Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2021), Method for assessing the tangential resistance of tissues after softening finishing [Metodika ocenki tangencial'nogo soprotivleniya tkanej posle umyagchayushchej otdelki], *Abstracts of the II All-Russian Scientific Student Conference*, Moscow, 2021, p. 42.
- 13. Shpachkova, A. V., Andreeva, E. G., Chizhova, N. V. (2016), Methods for determining the properties of materials for the clothing industry [Metody opredeleniya svojstv materialov dlya shvejnoj promyshlennosti], *Innovations and Investments*, 2016, № 8, p. 105–109.

Статья поступила в редакцию 12. 04. 2022 г.

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ МЕМБРАН НА ВОДОПАРОПРОНИЦАЕМОСТЬ СОДЕРЖАЩИХ ИХ МАТЕРИАЛОВ

INFLUENCE OF MEMBRANE STRUCTURE AND PROPERTIES ON WATER VAPOR PERMEABILITY OF MATERIALS CONTAINING THEM

УДК 677.017.6

Д.К. Панкевич, Е.И. Ивашко

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-68-79

D. Pankevich*, K. Ivashko

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕМБРА-НА, СТРУКТУРА, ТОЛЩИНА, ВОДОПАРОПРОНИЦАЕ-МОСТЬ, МАССОПРОВОДНОСТЬ

Объектом исследования являются комплексные двухслойные материалы, содержащие текстильный тканый слой и мембранный микропористый губчатый слой, имеющие различное соотношение толщин входящих в композит слоев и различные характеристики сорбционных и массообменных свойств полимера мембраны.

Предметом исследования является уровень водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов.

Цель работы – выявление закономерности изменения водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов при изменении толщины и коэффициента массопроводности входящих в их состав мембран для прогнозирования и создания комфортных условий функционирования человека в одежде.

В процессе работы выполнено исследование структуры и физико-механических свойств комплексных двухслойных материалов. Проведены исследования морфологии, толщины, коэффициента водопаропроницаемости мембранных материалов, а также толщины и коэффициента массопроводности мембран, входящих в их состав. Результаты исследований сопоставляли между собой.

Результат работы – выявлено, что наибольшее влияние на показатель водопаропроницаемости материала оказывают коэффициент массопроводности мембраны и отношение коэф-

ABSTRACT

WATERPROOF MATERIALS, MEMBRANE, STRUCTURE, THICKNESS, WATER VAPOR PERMEABILITY, MASS CONDUCTIVITY

The paper considers the influence of membrane layer thickness, its sorption and mass transfer properties on the vapor permeability of membrane textile materials for waterproof clothing. Two-layer textile materials containing a textile woven layer and a membrane microporous sponge layer made of hydrophilic, hydrophobic and combined polymers are investigated. Images obtained by scanning electron microscopy are presented characteristic of each of the groups of samples under consideration. It was revealed that despite the external similarity of the microscope observed structures of the samples grouped according to the principle of membrane hydrophilicity and hydrophobicity, the materials are characterized by different mass conductivity coefficients. The authors of the article confirmed that the membrane mass conductivity coefficient is a value that simultaneously takes into account both the ability to be wetted by water and the properties of the porous structure of the polymer membrane. The membrane mass conductivity coefficient linearly correlates with the water permeability of the complex material.

^{*} E-mail: dashapan@mail.ru (D. Pankevich)

фициента массопроводности мембраны к общей толщине комплексного материала. Установлено, что независимо от сорбционных свойств полимера мембраны и структуры текстильного слоя доля толщины мембраны в общей толщине композита в паре с коэффициентом массопроводности мембраны определяют способность комплексного мембранного водонепроницаемого материала пропускать через себя пары воды.

Область применения результатов – текстильная и швейная промышленность.

Качество продукции формируется на всех этапах ее жизненного цикла и неразрывно связано с умением рационально использовать свойства применяемых при ее изготовлении материалов в соответствии с конкретными условиями эксплуатации. В связи с этим одной из важных задач, обеспечивающих дальнейшее развитие легкой промышленности, является получение и систематизация знаний о связи свойств материалов и их структурных характеристик для обеспечения качества выпускаемой продукции. Особенно важны такие знания для оптимизации производства комплексных текстильных материалов, полученных объединением разнородных элементов структуры, ведь состав компонентов, их взаимное расположение и способ соединения определяют основные потребительские свойства конечного продукта.

Функциональность и эргономичность изделия являются базовыми потребительскими свойствами, которые решают существенную проблему создания для человеческого тела и организма экологически и эргономически комфортной среды.

Формирование оптимального микроклимата регулируется в первую очередь проницаемостью материалов. К материалам для водонепроницаемой одежды предъявляются противоречивые с точки зрения проницаемости требования: они должны защищать тело человека от проникания воды в пространство под одеждой и одновременно позволять парообразной влаге беспрепятственно покидать его. Указанному требованию соответствуют водозащитные мембранные текстильные материалы, сочетающие в своей структуре текстильные и полимерные слои.

Объектами исследования являются материалы для водонепроницаемой одежды, содержащие полиэфирный (ПЭ) текстильный слой, соединенный тонким сплошным слоем связующего с микропористыми мембранами из гидрофобных, гидрофильных полимеров или их комбинации. Все объекты исследования получены методом ламинирования текстильной основы мембраной и используются в качестве материалов верха водонепроницаемой одежды. Поровая структура объектов исследования чрезвычайно развита, полимерный мембранный слой содержит огромное количество пустот, пор, каналов, связанных между собой и обеспечивающих выведение влаги из пространства под одеждой, при этом размер пор не позволяет влаге извне проникать сквозь материал.

Высокий уровень паропроницаемости является признаком качества и комфортности мембранного материала для одежды. Среди большого числа методик, применяемых для оценки способности водозащитных материалов пропускать пары воды, до сих пор не найдена такая, которая была бы признана мировым сообществом ученых в качестве универсальной или рекомендуемой. Стандартные методики, используемые для оценки паропроницаемости материалов в различных странах, существенно различаются по условиям, создаваемым в процессе эксперимента. Поэтому значения показателей паропроницаемости варьируют в широком диапазоне. В настоящее время известны разновидности гравиметрического метода определения коэффициента паропроницаемости (ASTM E96-90, JIS L 1099, FOCT P 57514-2017, ISO 8096:2005), позволяющие получать результаты в единицах $\mathbf{z}/(\mathbf{m}^2\cdot 24\ \mathbf{u})$, и методы определения показателя сопротивления тепловому потоку испарения (ISO 11092:1993, ISO 1999, ASTM F 1868, EN 31092), которые позволяют получить результат в единицах $\mathbf{m}^2\cdot \mathbf{\Pi}a/\mathbf{Bm}$.

Показатель сопротивления тепловому потоку испарения Ret (Resistance Evaporative Thermique) подсчитывается исходя из того, сколько энергии надо затрачивать на поддержание постоянной температуры «потеющей» металлической пластины. Чем он меньше, тем выше паропроницаемость материала.

В настоящее время приборная база для определения показателей паропроницаемости текстильных материалов представлена различными по конструкции и методическому обеспечению средствами. Отсутствие единства не позволяет сравнивать значения показателей паропроницаемости между собой [1].

На территории РФ исследование паропроницаемости материалов для водонепроницаемой одежды проводится согласно ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Показатель водопаропроницаемости (способности материала пропускать водяной пар, сохраняя при этом высокую степень водонепроницаемости [2]) должен составлять не менее $360 \ \mathbf{z}/(\mathbf{m}^2 \cdot 24 \ \mathbf{u})$. В ближайшее время этот стандарт будет введен в действие и на территории РБ.

Для получения высокого уровня показателей водопаропроницаемости водонепроницаемых материалов с мембраной необходимо изучить, какие факторы влияют на его величину, чтобы управлять этим свойством.

Известны работы авторов Ю. В. Светлова, Т. И. Чалых, А. В. Куличенко, М. В. Родичевой, А. В. Абрамова, посвященные гигиенической оценке материалов для одежды и обуви [3-6]. В указанных работах рассмотрены однослойные текстильные материалы, натуральные и искусственные кожи и различные показатели их паропроницаемости, определяемые при различных моделируемых условиях, но не специфические для водонепроницаемой одежды. Исследованием свойств водонепроницаемых материалов для одежды,

содержащих мембрану, занимаются ученые G. R. Lomax, A. R. Tehrani-Bagha, A. Mukhopadhyay, V. Midha, A. Gulbinienė, A. B. Вершинина. Однако взаимосвязь структуры и свойств материалов прослеживается в указанных работах опосредованно, либо в интерпретации результатов исследований с иной целью, либо как функциональная зависимость, выявленная по результатам анализа размерностей [7–11]. В работе автора Eryuruk S.H. показана тесная корреляционная связь между тепловым сопротивлением и толщиной, паропроницаемостью и стойкостью к водяному пару для многослойных материалов для одежды. Выяснилось, что на тепло- и влагокомфортность существенно влияет структура слоёв комплексного материала [12].

Известно, что массоперенос является комплексным понятием, и в зависимости от условий протекания процесса, его связывают либо с процессами проницаемости, либо с кинетикой сорбции и набуханием, либо с растворением приведенных в контакт двух фаз, либо с перераспределением компонентов внутри материала [4].

Массоперенос материалов исследуют различными способами. В источнике [3] предложено изучать проницаемость материалов при стационарном переносе паров влаги массой \boldsymbol{m} из воздушного пространства стакана в воздушное пространство климатической камеры через поверхность образца площадью ${\pmb F}$ толщиной ${\pmb \delta}$ за время au при наличии разности парциальных давлений паров влаги ΔP в этих пространствах. Определяемую величину называют удельным потоком массопередачи – характеристикой процесса, которая, в свою очередь, является функцией двух характеристик: разности парциальных давлений пара в стакане и в пространстве климатической камеры $oldsymbol{P}_{cm}$ - $oldsymbol{P}_{\kappa\kappa}$ и коэффициента массопередачи K_m [3, 4]. При этом в случае стандартного опыта $P_{\scriptscriptstyle cm}$ - $P_{\scriptscriptstyle \kappa\kappa}$ = const, а коэффициент массопередачи \boldsymbol{K}_{m} определяется природными свойствами исследуемого образца материала, формой и размерами поверхности, толщиной образца, видом отделки поверхности, свойствами наполнителей, их количественным составом. Рассчитать коэффициент массопередачи можно по формуле (1) [3].

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{\beta_1} + \frac{\delta}{\lambda_m} + \frac{1}{\beta_2}} \quad , \tag{1}$$

где β_1 и β_2 – коэффициенты массоотдачи на первом и третьем этапах переноса пара, $\kappa z/(m^2 \cdot c \cdot mm \ pm. \ cm.); <math>\lambda_m$ – коэффициент массопроводности (паропроводности) вещества образца материала, физическая константа, определяющая свойства вещества, $\kappa z/(m \cdot c \cdot mm \ pm. \ cm.); <math>\delta$ – толщина образца материала, m.

Вероятно, коэффициент массопроводности λ_m является той величиной, которая учитывает одновременно и способность материалов смачиваться водой, и свойства пористой структуры.

Благодаря работам Т.И. Чалых в области обувного материаловедения установлено, что процесс паропроницаемости в полимерных пористых мембранах различных типов определяется двумя потоками – сорбционным потоком, связанным с поглощением паров воды полимерным каркасом, и фазовым потоком, характеризующим процесс переноса по его сквозной пористой структуре. В многослойных системах паропроницаемость всего комплексного материала определяется суммой отношений паропроницаемости каждого слоя к его объемной доле в составе системы [4].

Исходя из анализа источников литературы, можно сделать вывод, что все исследователи материалов легкой промышленности отмечают влияние природы полимера и толщины слоев, входящих в исследуемый материал, на паропроницаемость, но современные водозащитные мембранные материалы не подвергались специальному исследованию взаимосвязи сорбционных, массообменных и структурных характеристик полимерных мембран и нового стандартного показателя водопаропроницаемости, что подтверждает актуальность выбранной тематики. Ведь зная наперед определяющие водопаропроницаемость параметры, можно влиять на уровень комфортности одежды либо в процессе подбора материалов в пакет одежды, либо при проектировании материалов.

Целью работы является выявление закономерности изменения водопаропроницаемости мембранных текстильных материалов при изменении толщины и коэффициента массопроводности входящих в их состав мембран для прогнозирования и создания комфортных условий функционирования человека в одежде.

Для реализации цели работы определяли толщину слоев комплексного материала, проводили исследование коэффициента водопаропроницаемости по ГОСТ Р 57514-2017 и коэффициента массопроводности по методике, изложенной в источнике [3]. Результаты исследований сопоставляли между собой, используя изложенные в литературе [4] и предполагаемые интуитивно зависимости. Так, известно, что для кож с различной толщиной диффузионной гигиенической характеристикой является гигропроводимость, определяемая как отношение коэффициента массопроводности к толщине. Этот параметр позволяет оценить и сопоставить гигиенические характеристики кож с различными природными свойствами и толщинами. Также авторами статьи замечено, что для материалов, содержащих гидрофобный пористый слой, увеличение доли полимерного мембранного слоя в общей толщине материала приводит к увеличению паропроницаемости [13].

Коэффициент массопроводности определяли известным методом Тейлора или «вертикально стоящей чаши», при котором исследуемый образец является герметизирующей мембраной сосуда, содержащего воду. Сосуд с образцом помещают на определенное время в контролируемые условия в эксикатор, чтобы создать разность концентрации водяных паров по обе стороны от исследуемого материала. На дне эксикатора находится концентрированная серная кислота, непрерывно поглощающая диффундирующие через образец материала пары воды. Сосуд с образцом взвешивают до и после проведения опыта. Используют две элементарные пробы одного и того же образца, но различной толщины δ_1 , и δ_2 .

В данном случае использовали отделенную от текстильного слоя образца мембрану в одно и в два сложения, определяя убыль массы воды $\Delta \overline{M}_1$ из сосуда, закрытого одним слоем мембраны, и убыль массы воды $\Delta \overline{M}_2$ из сосуда, закрытого двумя слоями мембраны.

Определить коэффициент массопроводности λ_m можно по формуле (2) [3]

$$\lambda_{m} = \left(\frac{\left(\delta_{2} / \delta_{1}\right) \cdot \Delta \overline{M}_{2}}{\Delta \overline{M}_{1} - \Delta \overline{M}_{2}} + 1\right) \cdot \frac{\Delta \overline{M}_{1} \cdot \delta_{1}}{\Delta P \cdot \Delta \tau \cdot F} . \quad (2)$$

Учитывая, что отношение толщин элементарных проб образца (δ_2/δ_1) составляет постоянную величину в данном опыте и равно 2, а величина $\Delta P \Delta \tau F$ является постоянной и определяется временем $\Delta \tau$ экспозиции образцов (18 часов или 64 800 секунд), экспонируемой площадью F (0,000491 m^2) элементарных проб и разностью ΔP парциальных давлений водяного пара при установленных методикой условиях опыта (17,54 mm. pm. cm.), формула примет вид (3):

$$\lambda_{m} = \left(\frac{2 \cdot \Delta \overline{M_{2}}}{\Delta \overline{M_{1}} - \Delta \overline{M_{2}}} + 1\right) \cdot \frac{\Delta \overline{M_{1}} \cdot \delta_{1}}{558,07} , \quad (3)$$

где $\Delta\overline{M}_1$ и $\Delta\overline{M}_2$ – убыль воды из сосудов, закрытых соответственно одним и двумя слоями мембраны, z; δ_1 – толщина одного слоя мембраны, mm.

Структурные характеристики образцов исследованы с помощью растрового электронного

микроскопа VEGA II LSH методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в лаборатории Белорусского республиканского центра зондовой микроскопии Института механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель (таблица 1). Учитывая низкую электропроводность исследуемых материалов, с целью исключения накапливания зарядов и получения достаточно контрастной картины на поверхность образцов напылялся металл с низкой степенью окисления, в данном случае золото. Напыление производилось в специальной вакуумной камере путем нагрева и испарения металла в вакууме.

Исследованию подвергали комплексные двухслойные материалы, содержащие текстильный тканый слой и мембранный полиуретановый микропористый губчатый слой производства фирм Mikwang finetex, Ultrex, Hipora. Изучали свойства материалов, выдерживающих без промокания гидростатическое давление около $100\ \kappa \Pi a$, а следовательно, имеющих схожие характеристики пористости мембранного слоя [14].

Гидрофильность и гидрофобность мембран, входящих в структуру композитов, установлены

I	аблица	1	– X	арак	тери	стика	образ	цов

Номер	Толщина, <i>мм</i>		Поверхностная				
образца	общая	мембраны	плотность, z/m^2	Характеристика текстильного слоя			
образцы с гидрофильной мембраной							
1	0,138	0,08	98	ПЭ, полотняное переплетение			
2	0,260	0,07	117	ПЭ, основный полурепс			
3	0,250	0,09	142	ПЭ, полотняное переплетение			
4	0,200	0,09	101	ПЭ, полотняное переплетение			
5	0,195	0,04	110	ПЭ, полотняное переплетение			
образцы с гидрофобной мембраной							
6	0,237	0,13	142	ПЭ, саржевое переплетение			
7	0,245	0,12	126	ПЭ, комбинированное переплетение			
8	0,260	0,14	128	ПЭ, полотняное переплетение			
9	0,242	0,11	133	ПЭ, полотняное переплетение			
10	0,150	0,09	109	ПЭ, полотняное переплетение			
11	0,220	0,1	160	ПЭ, полотняное переплетение			
образец с комбинированной мембраной							
12	0,2	0,1	139	ПЭ, комбинированное переплетение			

по характеру изменения материала после погружения в воду. Образцы, содержащие гидрофильную мембрану, после погружения в воду скручиваются в плотный рулон мембраной наружу (мембрана впитывает воду и увеличивается в размерах), а образцы с гидрофобной мембраной либо скручиваются текстильным слоем наружу, либо остаются практически неизменными.

Толщину слоев определяли толщиномером индикаторным TP-10-60 с пределом допускаемой погрешности 0,01 *мм*. Мембрану предварительно отделяли от текстильной основы.

На рисунках 1,2 и 3 представлены изображения характерных для каждой группы образцов, полученные методом сканирующей электронной микроскопии. Поверхность образцов показана при увеличении 4500 крат, поперечный срез – 900 крат.

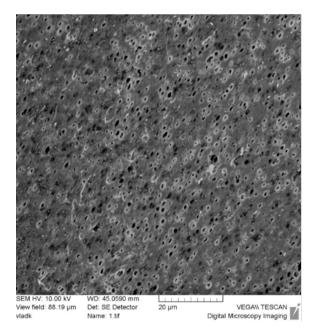
На рисунке 1 хорошо видна структура пор мембранного слоя образцов с гидрофильной мембраной (N^21-5). Полимер, покрытый сетью мелких пор с выходящими на поверхность устьями диаметром не более 5 $m\kappa m$, вблизи текстильного слоя образует крупные полости с пористыми стенками так, что для некоторых полостей филаменты нитей, образующих текстиль-

ный слой, являются стенкой.

Образцы № 6–11 с гидрофобной мембраной имеют иной характер пористости мембранного слоя (рисунок 2): устья пор на поверхности мембраны значительно меньше, очень редко визуализируется устье диаметром 2 $m\kappa m$, основная масса пор имеет диаметр устья менее 1 $m\kappa m$, а крупные поры конической формы сосредоточены в центре мембраны и не прилегают к текстильному слою.

Наиболее интересна структура комбинированного мембранного слоя образца № 12 (рисунок 3). Его поверхность покрыта микрочастицами пористой органоглины, внедренной в монолитный гидрофильный слой. Устья пор органоглины размером менее 1 $m\kappa m$ сливаются в протяженные разветвленные трещины, пронизывающие всю микрочастицу, средний размер которой около 10 $m\kappa m$, поэтому установить диаметр устьев пор затруднительно. Пористая структура гидрофобной части мембраны похожа на структуру образцов № 6–11, отличием является наличие очень крупных полостей на границе мембрана-текстиль.

Эксперимент проводили на образцах, имеющих различное соотношение толщин входящих



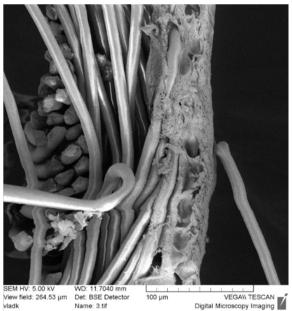


Рисунок 1 – Поверхность и поперечный срез образца № 5 с гидрофильной мембраной

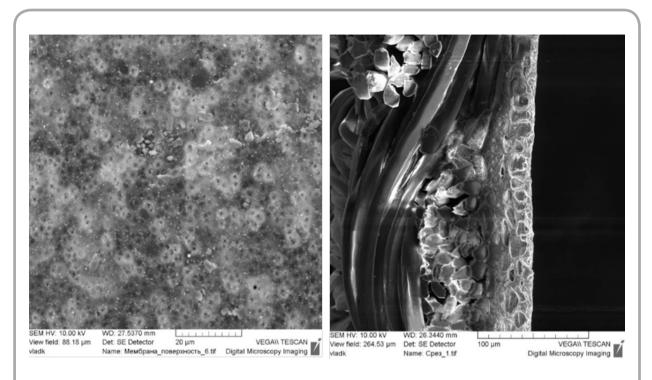


Рисунок 2 – Поверхность и поперечный срез образца № 11 с гидрофобной мембраной

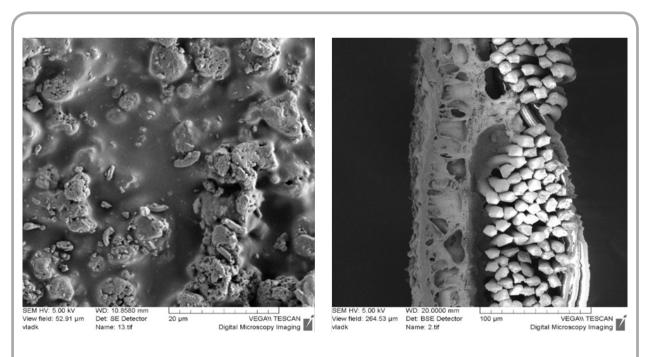


Рисунок 3 – Поверхность и поперечный срез образца № 12 с комбинированной мембраной

в композит слоев. Общая толщина материалов от 0,13 mm до 0,26 mm, поверхностная плотность – от 98 z/m^2 до 160 z/m^2 .

Исследование водопаропроницаемости материалов проводили в лаборатории кафедры технического регулирования и товароведения Витебского государственного технологического университета по ГОСТ Р 57514-2017 «Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия». Стандартный метод реализован с помощью устройства, описанного в [2] и установленного в климатической камере YTH-408-40-1P (Tuantao, Китай). Устройство позволяет придать столику с установленными на нем стаканчиками с образцами равномерное вращательное движение для создания постоянного потока воздуха над поверхностью образцов. В соответствии со стандартной методикой соблюдали следующие условия эксперимента: расстояние от глади воды до внутренней поверхности образца 1 cm, площадь экспонируемой поверхности образца 0,00053 m^2 , температура 20 ± 2 °C, влажность 65±5 %, время испытания 4 часа. Взвешивание стаканчиков с водой и образцами до и после четырехчасового периода размещения в контролируемых условиях проводили на аналитических электронных весах РА 214 С («OHAUS Corporation», США), класс точности І. Коэффициент водопаропроницаемости (K, $z/(m^2 \cdot 24 \ u)$) рассчитывали исходя из значения массы воды, испарившейся из стаканчика через площадь экспонируемой поверхности образца за 4 часа.

Исследуемый показатель водопаропроницаемости должен составлять от $360 \ \emph{e}/(\emph{m}^2 \cdot 24 \ \emph{u})$ (для съемных изделий кратковременного использования в сочетании с рабочей одеждой и одеждой для активного отдыха) до $560 \ \emph{e}/(\emph{m}^2 \cdot 24 \ \emph{u})$ (для верха рабочей одежды, предназначенной для продолжительной активности в тяжелых условиях). Как видно по результатам исследования, все образцы исследуемых водонепроницаемых материалов соответствуют требованиям ГОСТ Р 57514-2017 по данному показателю.

Результаты исследования свойств проницаемости образцов материалов представлены в таблице 2.

Анализ данных таблицы 2 позволяет сделать вывод, что при внешней схожести наблюдаемых

Номер	Коэффициент массопроводности полимера	Коэффициент водопаропроницаемости,								
образца	мембраны, $arepsilon/(m \cdot c \cdot mm \ pm. \ cm.)$	K , ϵ /($m^2 \cdot 24$ ५)								
образцы с гидрофильной мембраной										
1	0,0009	689								
2	0,0005	638								
3	0,0019	916								
4	0,0009	580								
5	0,0001	624								
	образцы с гидрофобной	і́ мембраной								
6	0,0031	1415								
7	0,0004	711								
8	0,0006	804								
9	0,0018	998								
10	0,0002	560								
11	0,0001	535								
	образец с комбинированн	ой мембраной								
12	0,0007	746								

в микроскоп структур образцов, объединенных в группы по принципу гидрофильности и гидрофобности мембран, материалы характеризуются различными по величине коэффициентами массопроводности. Средний коэффициент водопаропроницаемости образцов с гидрофильной мембраной составляет 689 $\mathbf{z}/(\mathbf{m}^2 \cdot 24 \mathbf{u})$, с гидрофобной – 837 $\mathbf{z}/(\mathbf{m}^2 \cdot 24 \mathbf{u})$. Образец с комбинированной мембраной показал промежуточный уровень водопаропроницаемости. Образцы, существенно различающиеся по толщине, имеют схожие значения водопаропроницаемости, например, как в случае сравнения образцов № 1 и № 2. И наоборот, у схожих по толщине материалов, как в случае образцов № 6 и № 7, значения водопаропроницаемости отличаются на порядок.

На рисунке 4 представлена зависимость водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур от коэффициента массопроводности полимера мембраны, полученная по результатам эксперимента.

Рисунок 4 показывает, что при анализе достаточно большого числа образцов в относительно

широком диапазоне водопаропроницаемости наблюдается линейная ее зависимость от коэффициента массопроводности полимера мембраны. Это означает, что ведущую роль в свойстве водопаропроницаемости мембранных водозащитных материалов играет именно мембрана, а не текстильный слой.

Корреляционный анализ позволил установить, что наибольшее влияние на показатель водопаропроницаемости оказывают коэффициент массопроводности (k = 0.937) и отношение коэффициента массопроводности мембраны к общей толщине комплексного материала (k = 0.883), то есть гипотеза, предложенная в начале исследования, подтвердилась, и результаты эксперимента не противоречат выводам Т.И. Чалых и других исследователей. Для мембранных водозащитных материалов, содержащих пористую мембрану и имеющих схожие характеристики пористости мембранного слоя, оцениваемые уровнем водонепроницаемости, независимо от типа полимера справедливо утверждение, что их водопаропроницаемость линейно зависит от коэффициента массопровод-

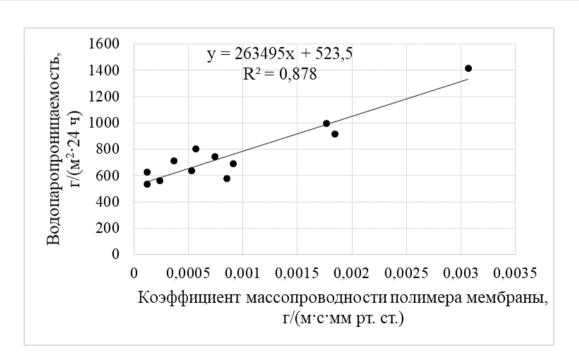


Рисунок 4 – Зависимость водопаропроницаемости мембранных материалов различных структур от коэффициента массопроводности полимера мембраны

ности мембраны, входящей в состав материала, и линейно зависит от соотношения коэффициента массопроводности мембраны и толщин слоев материала. То есть доля толщины мембраны в общей толщине материала в паре с коэффициентом массопроводности мембраны определяют способность комплексного мембранного водонепроницаемого материала пропускать через себя пары воды.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Буркин, А. Н., Панкевич, Д. К. (2020), *Гигиенические свойства мембранных текстильных материалов*, Витебск, УО «ВГТУ», 2020, 190 с.
- 2. ГОСТ Р 57514-2017. Ткани с резиновым или полимерным покрытием для водонепроницаемой одежды. Технические условия, введ. 01.04.18, (2017), Москва, Стандартинформ, 24 с.
- 3. Светлов, Ю. В. (2004), Метод расчетного анализа массообменных процессов в обуви, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2004, № 1, С. 45–47.
- 4. Чалых, Т. И. (2000), Структура и влагообменные свойства пористых полимерных материалов: автореф. дис. ... д-ра хим. наук, ГУП ЦНИИ-ПИК, Москва, 55 с.
- 5. Куличенко, А. В. (2002), Прогнозирование, моделирование проницаемости текстильных материалов различных структур, *Материалы II международной научно-практической конференции «Материаловедение-2002»*, Черкизово, 2002, С. 129–135.
- Rodicheva, M., Abramov, A., Kanatnikov, N., Kanatnikova, P. (2017), Advanced Technique and the Results of a Research of a Heat-Mass-Exchange Processes in Clothes Packages in the Subnormal Climate, *IOP Conference Series: Earth* and Environmental Science, 2017, Vol. 66, pp. 1–8.

REFERENCES

- 1. Burkin, A. N., Pankevich, D. K. (2020), *Gigienicheskie svojstva membrannyh tekstil'nyh materialov* [Hygienic properties of membrane textile materials], Vitebsk, EI «VSTU», 2020, 190 p.
- 2. GOST R 57514-2017. Fabrics with rubber or polymer coating for waterproof clothing. Technical conditions, vved. 01.04.18, (2017), Moscow, Standardinform, 24 p.
- 3. Svetlov, Y. V. (2004), Method of calculation analysis of mass exchange processes in footwear [Metod raschetnogo analiza massoobmennyh processov v obuvi], *Leather and Footwear Industry*, 2004, № 1, pp. 45–47.
- 4. Chalykh, T. I. (2000), *Struktura i vlagoobmennye svojstva poristyh polimernyh materialov:* avtoref. dis. ... d-ra him. nauk [Structure and moisture-exchange properties of porous polymeric materials: abstract of Dr. Sci. D. in Chemistry], GUP TsNIIPIK, Moscow, 55 p.
- 5. Kulichenko, A. V. (2002), Prediction, modeling of permeability of textile materials of different structures [Prognozirovanie, modelirovanie pronicaemosti tekstil'nyh materialov razlichnyh struktur], Proceedings of II International Scientific-Practical Conference "Material Science-2002", Cherkizovo, 2002, pp. 129–135.
- 6. Rodicheva, M., Abramov, A., Kanatnikov, N., Kanatnikova, P. (2017), Advanced Technique

- 7. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
- 8. Tehrani-Bagha, A. R. (2019), Waterproof breathable layers A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2019, Vol. 268, pp. 114–135.
- Mukhopadhyay, A., Midha, V. K. (2008), A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, Vol. 37, pp. 225–262.
- Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Pacevičienė, V., Mickus, K.V. (2007), Investigation of Water Vapour Resorption, *Desorption of Textile Laminates* Materials Science, 2007, Vol. 13 (3), pp. 255–261.
- 11. Вершинина, А. В., Кирсанова, Е. А., Павлов, М. А. (2017), Оценка кинетики температуры и влажности в пододежном пространстве многослойной детской одежды, *Дизайн и технологии*, 2017, № 62 (104), С. 67 74.
- 12. Eryuruk, S. H. (2019), Effect of fabric layers on thermal comfort properties of multilayered thermal protective fabrics, *Autex Research Journal*, 2019, Vol. 19, № 3, pp. 271–278.
- 13. Панкевич, Д. К. (2021), Взаимосвязь структуры и паропроницаемости водонепроницаемых «дышащих» мембранных материалов, материалы V Міжнародна науково-практична конференція текстильних та фешн технологій КуіvTex&Fashion, Киев, 2021, С. 107–109/
- 14. Ивашко, Е. И., Панкевич, Д. К. (2020), Исследование структуры композиционных текстильных материалов гидростатическим прибором, Сборник научных трудов Всероссийской научно-практической конференции «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий», Кострома, ФГБОУ ВО «Костромской государственный университет», 2020, С. 118–122.

- and the Results of a Research of a Heat-Mass-Exchange Processes in Clothes Packages in the Subnormal Climate, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2017, Vol. 66, pp. 1–8.
- 7. Lomax, G. R. (2007), Breathable polyurethane membranes for textile and related industries, *Journal of Materials Chemistry*, 2007, Issue 27, pp. 2775–2784.
- 8. Tehrani-Bagha, A. R. (2019), Waterproof breathable layers A review, *Advances in Colloid and Interface Science*, 2019, Vol. 268, pp. 114–135.
- 9. Mukhopadhyay, A., Midha, V. K. (2008), A Review on Designing the Waterproof Breathable Fabrics Part I: Fundamental Principles and Designing Aspects of Breathable Fabrics, *Journal of Industrial Textiles*, 2008, Vol. 37, pp. 225–262.
- 10. Gulbinienė, A., Jankauskaitė, V., Pacevičienė, V., Mickus, K.V. (2007), Investigation of Water Vapour Resorption, *Desorption of Textile Laminates Materials Science*, 2007, Vol. 13 (3), pp. 255–261.
- 11. Vershinina, A. V., Kirsanova, E. A., Pavlov, M. A. (2017), Evaluation of temperature and moisture kinetics in the underwire space of layered children's clothing [Ocenka kinetiki temperatury i vlazhnosti v pododezhnom prostranstve mnogoslojnoj detskoj odezhdy], *Design and Technology*, 2017, № 62 (104), pp. 67–74.
- 12. Eryuruk, S. H. (2019), Effect of fabric layers on thermal comfort properties of multilayered thermal protective fabrics, *Autex Research Journal*, 2019, Vol. 19, № 3, pp. 271–278.
- 13. Pankevich, D. K. (2021), Relationship between structure and vapor permeability of waterproof "breathable" membrane materials [Vzaimosvyaz' struktury i paropronicaemosti vodonepronicaemyh «dyshashchih» membrannyh materialov], *Proceedings of V International Scientific and Practical Conference of Textile and Fashion Technologies KyivTex&Fashion*, Kiev, 2021, pp. 107–109.

14. Ivashko, E. I., Pankevich, D. K. (2020), The study of the structure of composite textile materials with a hydrostatic device [Issledovanie struktury kompozicionnyh tekstil'nyh materialov gidrostaticheskim priborom], *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference "Scientific research and development in the field of design and technology"*, Kostroma, Kostroma State University, 2020, pp. 118–122.

Статья поступила в редакцию 18. 04. 2022 г.

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭКСТРУЗИОННОГО ИНСТРУМЕНТА

EXTRUSION TOOL DESIGN TECHNOLOGY

УДК 621.762

В.В. Пятов, А.Н. Голубев*

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-80-88

V. Pyatov, A. Holubeu*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЭКСТРУЗИЯ, ШНЕКОВЫЕ МАШИНЫ, ВЯЗ-КО-ПЛАСТИЧНАЯ СРЕДА, ЭКСТРУЗИОННАЯ МАТРИЦА, ШНЕК, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОЕКТИ-РОВАНИЯ

Предметом исследования является технология автоматизированного проектирования экструзионного инструмента, в частности, экструзионной матрицы и силового шнека экструдера для переработки вязко-пластичных сжимаемых сред.

Приведена расчетная схема зоны деформации при проектировании экструзионной матрицы, представлен алгоритм и дан фрагмент расчетов ее геометрических параметров. Для шнека с прямоугольным профилем канала показано распределение касательных напряжений, даны алгоритм и пример расчетов геометрических параметров канала шнека. Рассмотренная технология проектирования построена на основе теоретической модели, связывающей реологические свойства и триботехнические характеристики перерабатываемого материала с геометрическими параметрами экструзионного инструмента.

Приведены примеры конструкций формующей головки и силового шнека экструдера, спроектированных на основании выполненных расчетов. Результаты работы могут быть полезны при разработке специализированной САПР деталей и узлов экструзионного оборудования.

ABSTRACT

EXTRUSION, SCREW MACHINES, VISCO-PLASTIC MEDIUM, EXTRUSION DIE, SCREW, DESIGN TECHNOLOGY

The subject of the research is the technology of computer-aided design of an extrusion tool, in particular, an extrusion die and a power screw of an extruder for processing viscous-plastic compressible media.

The calculation scheme of the deformation zone in the design of an extrusion die is given, an algorithm and a fragment of calculations of its geometric parameters are offered. For a screw with a rectangular channel profile, the distribution of shear stresses is shown, an algorithm and an example of calculating the geometric parameters of the screw channel are proposed. The considered design technology is based on a theoretical model that relates the rheological properties and tribotechnical characteristics of the processed material with the geometric parameters of the extrusion tool.

Examples of designs of the forming head and the power screw of the extruder, designed on the basis of the performed calculations, are shown. The results of the work can be useful in the development of specialized CAD for parts and assemblies of extrusion equipment.

Постановка задачи

В статье рассматривается задача разработки методики проектирования шнековых машин (экструдеров), позволяющая автоматизировать

расчет и проектирование формующих головок и силовых шнеков с оптимальными геометрическими характеристиками. На входе даны эксплуатационные и геометрические свойства изделия

^{*} E-mail: a_golubev@tut.by (A. Holubeu)

(требования заказчика), а также физические и технологические свойства формуемой среды (главным образом реологические и трибологические ее характеристики). На выходе автоматизированная система, построенная на основе разработанной методики, должна быть способна формировать конструкторскую документацию (3D-модели и чертежи), необходимую для изготовления оборудования.

Теория экструзии в основном развивалась по отдельности в разных отраслях народного хозяйства, в зависимости от свойств перерабатываемых материалов. В последнее время получили большое развитие численные методы исследования пластической деформации, моделирующие процесс экструзии [1, 2], существуют математические модели, позволяющие рассчитывать технологические параметры, например, при экструзии брикетов порошков алюминия [3]. Прямое заимствование полученных результатов для процессов переработки других материалов, как правило, невозможно, поскольку по реологическим и технологическим свойствам перерабатываемые экструзией материалы сильно отличаются друг от друга. В статье описана методика проектирования инструмента, применяемого для переработки пластично-вязких сред, построенная на основе теоретической модели экструзии подобных сжимаемых сред [4]. В частности, приведены примеры расчетов, выполняемых при проектировании экструзионной матрицы и силового шнека экструдера.

Исходные данные для проектирования

Рассмотрим пример расчета экструзионной матрицы и силового шнека для экструдирования изделия в виде трубы с наружным диаметром 30 *мм* и внутренним диаметром 20 *мм*. Материал – бронзовый сферический порошок марки БрОФ-10-1 с фракцией -200+160 *мкм*, пластифицирующая добавка – технически очищенный парафин.

Методика проектирования матрицы

Расчетная схема для проектирования матрицы изображена на рисунке 1. Параметры калибрующей части определяются геометрией изделия: радиус выходного сечения конуса матрицы ${m r}_I=15~{m mm}$, радиус дорна ${m r}_0=10~{m mm}$, длина цилиндрической (калибрующей) части матрицы ${m z}_2$ - ${m z}_I=20~{m mm}$. Угол наклона образующей кону-

са $\alpha = 30^\circ$; большее значение этого параметра ведет к ухудшению качества прессовок, а меньшее – к неоправданному увеличению энергоем-кости процесса формования.

Давление \boldsymbol{p}_o на входе в коническую часть матрицы равно давлению, при котором материал теряет газовую фазу и становится несжимаемым. Оно определено по результатам исследования уплотняемости пластифицированных порошков: \boldsymbol{p}_o = 60 $\boldsymbol{M}\boldsymbol{\Pi}\boldsymbol{a}$. Предел текучести и коэффициент внешнего трения при этом давлении для выбранного материала равны соответственно $\boldsymbol{\sigma}_s$ = 12 $\boldsymbol{M}\boldsymbol{\Pi}\boldsymbol{a}$ и \boldsymbol{f} = 0,13. Радиус входной части конуса матрицы рассчитан по формуле [4]

$$r_2 = \sqrt{\left(\frac{p_\theta + m\sigma_s}{\sigma_I + m\sigma_s}\right)^{1/n} \left(r_I^2 - r_\theta^2\right) + r_\theta^2} \quad , \tag{1}$$

где коэффициент m зависит от коэффициента трения f и угла наклона образующей конуса α (таблица 1).

Алгоритм и результаты расчетов по проектированию матрицы представлены в таблице 1. Методики, устройства и оснастка для измерения необходимых технологических свойств материалов и коэффициентов подробно рассматриваются в монографии [4]. Результаты расчетов матрицы представлены на рисунке 2.

Методика проектирования шнека

Проектирование шнека целесообразно начинать с выбора профиля винтового канала. В работе [4] было получено уравнение, позволяющее рассчитать профиль канала по заданному распределению напряжений в материале. В соответствии со сделанными допущениями, канал шнека имеет постоянное по длине сечение и считается прямолинейным. Движущая сила возникает в результате трения о подвижную поверхность и давления, действующего на входе в канал (если оно есть). Ось z направлена от выхода канала к его входу, то есть от матрицы экструдера к бункеру. Начало отсчета совпадает с границей раздела между каналом шнека и матрицей, давление в этой точке p_{o} . Ось x направлена по ширине канала, ось y – по его высоте (глубине).

Полученные в [4] уравнения позволяют, задаваясь функцией распределения касательных

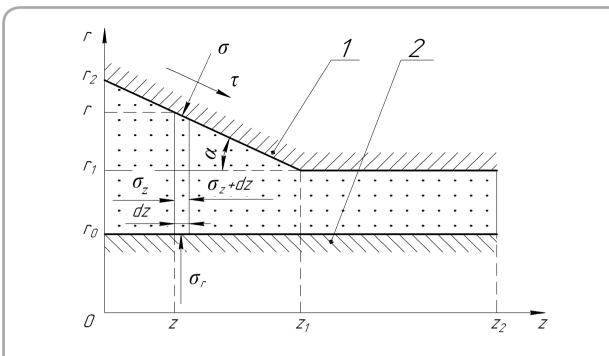


Рисунок 1 – Схема зоны деформации: 1 – поверхность матрицы, 2 – поверхность дорна

Таблица 1 – Алгоритм расчетов по проектированию матрицы

Источник	Обозначение параметра	Название параметра	Размерность	Формула	Значение
Заданные	r_o	Внутренний радиус изделия	м	-	0,01
параметры	$r_{_{I}}$	Наружный радиус изделия	м	-	0,015
Выбранные	z ₂ - z ₁	Длина калибрующей части	м	-	0,02
значения	а	Угол подъема образующей	радиан	$\pi/6$	0,524
	$\sigma_{_{8}}$	Предел текучести	МПа		12
Измеренные величины	f	Коэффициент трения	-	-	0,13
величины	p_o	Критическое давление	МПа	-	60
	p	Коэффициент	1/м	$\frac{2 f r_1}{r_1^2 - r_0^2}$	31,2
	σ_{i}	Напряжение на выходе конуса	МПа	$\sigma_{s} \Big[e^{p(z_2-z_1)} - 1 \Big]$	10,397
Результаты вычислений	k	Коэффициент	-	$\frac{f + \operatorname{tg}\alpha}{I - f\operatorname{tg}\alpha}$	0,765
	n	Коэффициент	-	$k\operatorname{ctg}\alpha-1$	0,325
	m	Коэффициент	-	$\frac{1}{f} \cdot \frac{f + \lg \alpha}{1 + \lg^2 \alpha}$	4,081

Радиус основания конуса

(1)

0,0302

 \boldsymbol{r}_{2}

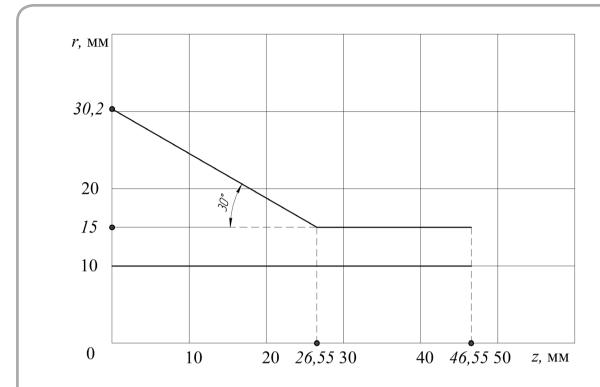


Рисунок 2 – Результаты расчета матрицы

напряжений по глубине канала au = f(y), найти соответствующую этой функции зависимость x = f(y), тем самым определив геометрию профиля канала. При этом удобно пользоваться безразмерными величинами размеров и напряжений, полученными путем деления всех размеров x на ширину канала x_0 и всех напряжений τ на напряжение на неподвижной поверхности канала τ_0 .

В частности, если требуется обеспечить постоянство касательных напряжений по глубине и задаться функцией $\tau = f(y) = const$ (рисунок 3 a), то зависимость x = f(y) окажется прямой линией, проходящей через точки (0, H) и $(x_0, 0)$, что соответствует треугольному профилю канала (рисунок 3 δ).

Так как используемый для фильтров сферический бронзовый порошок, пластифицированный парафином, обладает высокой пластичностью, для расчетов шнека был выбран не треугольный, а технологически более простой квадратный профиль со стороной 5 mm. У такого профиля, наоборот, x = f(y) = const (рисунок 4 θ), соответствующее этому профилю рассчитанное распределение касательных напряжений по глубине

 $\tau = f(y)$ показано на рисунке 4 a.

Радиус шнека \boldsymbol{r}_2 и давление на выходе из канала \boldsymbol{p}_0 уже были определены при расчете матрицы. Угол подъема канала γ можно выбрать произвольно (лучше из интервала $10-20^\circ$).

Длина канала рассчитана по формуле [4]

$$z_{\theta} = d \ln \frac{(p_{\theta} - e)(f - \rho gH)}{(f - p_{\theta})(\rho gH - e)} , \qquad (2)$$

длина прессующей части шнека - по формуле

$$L = z_{\theta} \sin \gamma , \qquad (3)$$

а соответствующее ей число витков канала равно

$$n = \frac{z_0 \cos \gamma}{2\pi r_2} \quad . \tag{4}$$

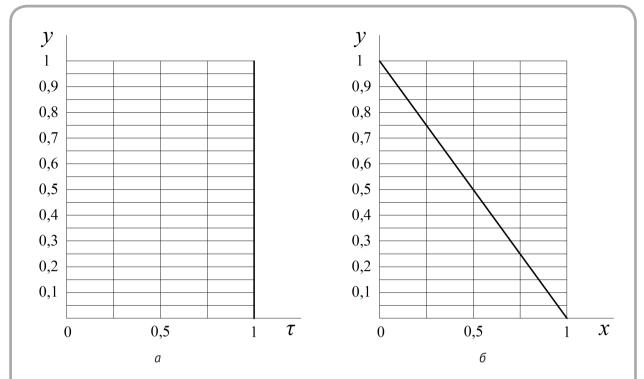


Рисунок 3 — Распределение касательных напряжений $\tau = f(y) = const$ (a) и соответствующий ему треугольный профиль канала x = f(y) (б)

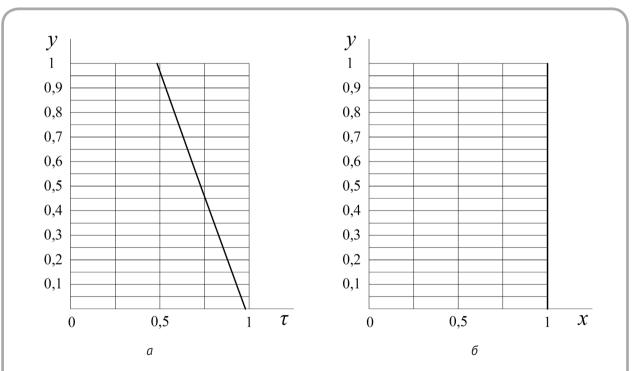


Рисунок 4 — Распределение касательных напряжений $\tau = f(y)$ (a) и соответствующий ему прямоугольный профиль канала x = f(y) = const (б)

Алгоритм и результаты расчетов по проектированию шнека представлены в таблице 2.

Разработка и применение прикладной САПР

В современной практике конструирования для выполнения расчётов и разработки конструкторской документации широко применяются трехмерные CAD-системы, например, КОМПАС-

3D, SolidWorks, NX. Имеющийся базовый функционал таких систем позволяет автоматизировать множество операций, непосредственно связанных с геометрическим моделированием и получением на основе построенных моделей ассоциативных чертежей. Однако экструдеры – это специализированное оборудование, и для

Таблица 2 – Алгоритм и результаты расчетов параметров канала шнека

Источник Обозначение параметра		Название параметра	Размерность	Формула	Значение
	r_2	Радиус шнека	м	-	0,0302
Заданные	p_o	Давление на выходе	МПα	-	60
параметры	g	Ускорение свободного падения	m/c^2	-	9,81
	l_o	Половина ширины канала	м	-	0,0025
Выбранные	$l_{_{I}}$	Половина профиля канала	м	$3l_o$	0,0075
значения	H	Глубина канала	м	$2l_o$	0,005
	γ	Угол подъема канала	радиан π/8		0,3927
	ρ	Плотность	$\kappa c/m^3$	-	2000
	a_o	Коэффициент	МПа	-	0,07
	b_o	Коэффициент	-	-	0,66
Измеренные величины	c_o	Коэффициент	1/МПа –		-0,005
	$a_{_{1}}$	Коэффициент	МПа	-	0,02
	$b_{_{I}}$	Коэффициент	-	-	0,2
	$c_{_{1}}$	Коэффициент	1/МПа	-	-0,006
	a	Коэффициент	фициент – $\left \left(a_{_{ heta}}l_{_{ heta}}-a_{_{1}}l_{_{1}} \right) / H^{^{2}} \right $		1
	b	Коэффициент	-		6
	c	Коэффициент	$- \qquad (c_{\theta}l_{\theta}-c_{I}l_{I})/H^{2}$		1,3
	d	Коэффициент	-	$\frac{1}{2c}\sqrt{\frac{b^2}{4c^2}-\frac{a}{c}}$	0,821
Результаты вычислений	e	Коэффициент	-	$-\sqrt{\frac{b^2}{4c^2}-\frac{a}{c}}-\frac{b}{2c}$	-4,44
	f	Коэффициент	Коэффициент –		-0,173
	$p_{_{\scriptscriptstyle{6}}}$	Давление на входе	Па	ho g H	98,1
	z_o	Длина канала	м	(2)	2,607
	n	Число витков	-	(3)	13
	L	Длина шнека	м	(4)	0,997

достижения наиболее высокой степени автоматизации при их проектировании необходимо разрабатывать прикладные САПР (библиотеки), расширяющие базовый функционал САD-систем.

С целью автоматизации расчетов и построений моделей и чертежей формующего инструмента (экструзионной матрицы) и силовых шнеков выполнена экспериментальная разработка специализированной прикладной системы автоматизированного проектирования. Приложение интегрировано в САПР КОМПАС-3D через использование при написании программного кода интерфейсов прикладного программирования (АРІ). Такая интеграция позволяет использовать для трехмерных построений геометрическое ядро системы КОМПАС-3D и на выходе получать готовые трехмерные модели и сборки деталей и узлов с рассчитанными оптимальными геометрическими характеристиками. Приложение содержит базу данных исследованных в рамках

данной работы материалов и позволяет выполнять расчет и построение 3D-модели формующей головки, геометрический и силовой расчет шнека, а также расчеты допустимых скоростей вращения шнека при заданных геометрических параметрах. Практика показала, что реализация разработанных методик проектирования шнека и формующей головки в виде прикладной САПР способствует снижению времени подготовки конструкторской документации для этих наиболее ответственных и специализированных узлов шнекового экструдера. На основании выполненных расчетов и построенных 3D-моделей облегчается доработка конструкторской документации. Для примера на рисунках 5 и 6 представлены доработанные готовые чертежи из комплекта конструкторской документации на шнек и формующую головку экструдера, построенные с применением разработанной методики и прикладной САПР.

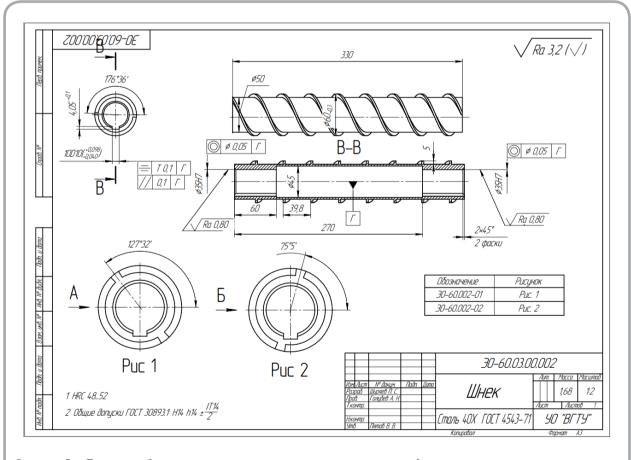


Рисунок 5 – Пример рабочего чертежа секции силового шнека экструдера

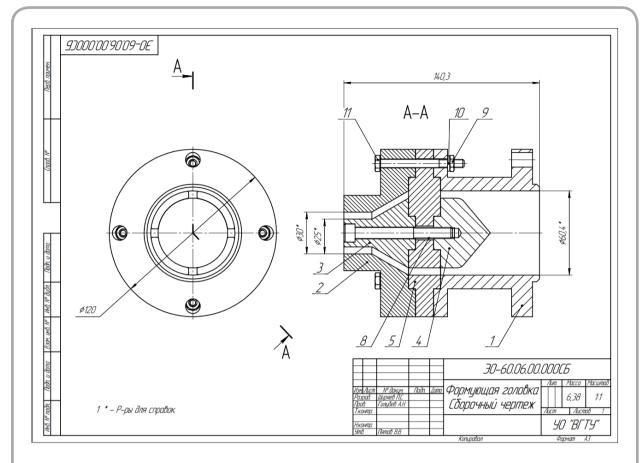


Рисунок 6 – Пример сборочного чертежа формующей головки экструдера

выводы

Реализация разработанной выше технологии проектирования шнека и формующей головки в виде прикладной САПР способствует снижению времени подготовки конструкторской документации для этих наиболее ответственных и специализированных узлов шнекового экструдера. В свою очередь, узлы экструдера, включающие преимущественно типовые (не специализированные) детали машин (подшипниковые узлы, муфты, приводы, станины из сварных металлоконструкций), не требуют разработки специализированных приложений, их можно эффективно проектировать с применением базового функционала трехмерных САПР и их стандартных машиностроительных конфигураций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Цеменко, В. Н., Фук, Д. В., Ганин, С. В. (2016), Определение реологических характеристик и моделирование процесса экструзии порошковых пористых материалов. Часть 1. Порошковое тело, Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2016, № 243, с. 124.
- 2. Цеменко, В. Н., Фук, Д. В., Ганин, С. В. (2016), Определение реологических характеристик и моделирование процесса экструзии порошковых пористых материалов. Часть 2. Пористое тело, Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета, 2016, № 243, с. 134.
- 3. Григорьев, А. А., Дмитрюк, А. И. (2020), Расчет технологических параметров экструзии брикетов порошков алюминия, *Научно-технические ведомости СПбГУ, Естественные и инженерные науки*, 2020, том 26, № 1, с. 53.
- 4. Пятов, В. В., Голубев, А. Н. (2018), Экструзия пластично-вязкой среды, Витебск, 212 с.

RFFFRFNCFS

- 1. Tsemenko, V., Fuk, D., Ganin, S. (2016), Determining the rheological characteristics and modeling the extrusion of powder and porous materials. Part 1. Powder body [Opredeleniye reologicheskikh kharakteristik i modelirovaniye protsessa ekstruzii poroshkovykh poristykh materialov.Chast'1.Poroshkovoye telo], Nauchnotekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta Scientific and technical statements of St. Petersburg State Polytechnic University, 2016, № 243, p. 124.
- 2. Tsemenko, V., Fuk, D., Ganin, S. (2016), Determining the rheological characteristics and modeling the extrusion of powder and porous materials. Part 2. Porous body [Opredeleniye reologicheskikh kharakteristik i modelirovaniye protsessa ekstruzii poroshkovykh poristykh materialov. Chast' 2. Poristoye telo], *Nauchnotekhnicheskiye vedomosti Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo universiteta Scientific and technical statements of St. Petersburg State Polytechnic University*, 2016, № 243, p. 134.
- 3. Grigoriev, A., Dmitryuk, A. (2020), Calculation of the technology parameters of aluminum powder extrusion [Raschet tekhnologicheskikh parametrov ekstruzii briketov poroshkov alyuminiya], Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGU, Yestestvennyye i inzhenernyye nauki Scientific and technical bulletin of St. Petersburg State University, Natural and engineering sciences, 2020, vol. 26, № 1, p. 53.
- 4. Pyatov, V., Golubev, A. (2018), *Ekstruziya plastichno-vyazkoy sredy* [Extrusion of a plastic-viscous medium], Vitebsk, 212 p.

Статья поступила в редакцию 10. 05. 2022 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИГИЕНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГИБРИДНОГО ТРИКОТАЖА ПЛАТИРОВАННЫХ ПЕРЕПЛЕТЕНИЙ

RESEARCH OF HYGIENIC PROPERTIES OF HYBRID PLATED JERSEY FABRICS

УДК 677.025.5

А.В. Чарковский, Д.И. Быковский*

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-89-98

A. Charkovskij, D. Bykouski*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ГИБРИДНЫЙ ТРИКОТАЖ, ПЛАТИРОВАННОЕ ПЕРЕПЛЕТЕНИЕ, ГИГИЕНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МУЛЬТИФИЛАМЕНТНАЯ НИТЬ, ГИГРОСКОПИЧ-НОСТЬ, КАПИЛЛЯРНОСТЬ, СКОРОСТЬ СУШКИ

Предметом исследования являются гигиенические свойства гибридного трикотажа платированных переплетений. Объект исследования гибридный трикотаж платированных переплетений. Целью данной работы было определение влияния сырьевого состава трикотажа платированного переплетения на гигиенические свойства изделий и выработка рекомендаций по выбору сырья для формирования слоев такого трикотажа. Проведены исследования гигроскопичности, капиллярности и скорости сушки образцов трикотажных полотен. Установлены значения основных показателей гигиенических свойств трикотажа платированных переплетений как для трикотажа из одного вида сырья, так и для трикотажа из конкретных сочетаний гидрофобных и гидрофильных наиболее распространенных видов текстильных нитей. Приведены рекомендации по выбору сырья для формирования влагопринимающего и влаговпитывающего слоев гибридного трикотажа с повышенными гигиеническими свойствами. Полученные результаты могут быть использованы в трикотажном производстве.

ABSTRACT

HYBRID JERSEY FABRICS, PLATED STRUCTURE, HYGIENIC PROPERTIES, HYGROSCOPICITY, CAPILLARITY, DRYING SPEED

The subject of the research is the hygienic properties of jersey plated fabrics. The objects of research are jersey plated fabrics.

The aim of the work is to estimate the influence of raw materials composition of jersey plated fabrics on its hygienic properties. It is necessary to formulate recommendations on the choice of raw materials for the formation of layers of jersey plated fabrics. A research of hygroscopicity, capillarity and drying rate of samples of knitted fabrics was carried out. The values of hygienic properties of jersey plated fabrics were determined both for fabrics made of one type of raw material and for fabrics made of specific combinations of most common hydrophobic and hydrophilic types of textile yarns.

Recommendations on the choice of raw materials for the formation of moisture-transferring and moisture-absorbing layers of hybrid knitted fabrics with improved hygienic properties are presented. The results can be used in knitting production.

Гибридные текстильные материалы сочетают в себе нити, волокна из разных видов сырья. Благодаря этому можно совмещать полезные свойства различных нитей, волокон для целенаправленного формирования функциональных свойств изделий. Одним из видов таких текстильных материалов является гибридный трикотаж.

Гибридный трикотаж – это трикотаж, содержащий элементы петельной структуры, образованные из нитей разного вида, волокнистого

^{*} E-mail: *denisbykouskij@yandex.ru* (D. Bykouski)

состава. В последние годы интенсивно разрабатываются технологии образования трикотажа путем создания в его структуре слоев, состоящих из различных по свойствам нитей [1, 2, 3, 4].

Для создания трикотажа с улучшенными гигиеническими свойствами (белье, спортивные изделия, маски медицинские и т. д.) в его структуре формируют как минимум два слоя. Внутренний прилегающий к телу влагопринимающий слой состоит из гидрофобных синтетических нитей. Эти нити, не впитывая влагу, передают ее во внешний влаговпитывающий испаряющий слой, сформированный из гидрофильных нитей. С внешнего испаряющего слоя влага передается в окружающее пространство. Таким образом, создается эффект «сухости» изделия в условиях повышенного потоотделения [1, 2, 3, 4].

В работе [1] изучался трикотаж для производства влаговыводящего и комбинированного термобелья. Образцы трикотажа для влаговыводящего термобелья, описанные в статье, состояли полностью из синтетических видов сырья. Образцы трикотажа для комбинированного термобелья состояли из двух слоев: один, прилегающий к телу влагопринимающий, - из синтетических гидрофобных видов сырья, второй, внешний влаговпитывающий, - из натуральных гидрофильных видов сырья. Автором работы выявлено, что трикотаж для комбинированного термобелья имеет наибольшее потопоглощение, обусловленное гигроскопическими свойствами, а трикотаж для влаговыводящего термобелья имеет наибольшую потоотдачу, обусловленную капиллярными свойствами. Комбинированное термобелье обеспечивает «эффект сухости» и согревающее действие.

В работе [2] изучались трикотажные полотна различных переплетений из различных гидрофобных синтетических видов сырья. В одном из образцов дополнительно использовалась гидрофильная шерсть. Результаты авторов говорят о том, что трикотажные полотна из одного и того же вида сырья, но разных переплетений, имеют отличные друг от друга гигроскопичность и капиллярность. Это говорит о влиянии вида переплетения на свойства трикотажа. Также в работе показано сильное увеличение (с 3 % до 7,2 %) гигроскопичности гибридного трикотажа, содержащего 75 % гидрофобных волокон ПАН и

25 % гидрофильных волокон шерсти, по сравнению с трикотажем, содержащим 100 % ПАН.

В работе [3] изучался трикотаж плюшевого переплетения для производства чехлов-носков протезов нижней конечности с повышенными гигиеническими свойствами. Плюшевое переплетение позволяет создавать три слоя. Первый слой – влагопринимающий. Он состоит из гидрофобных нитей и соприкасается с кожей. Второй слой – наружный испаряющий, сформированный теми же нитями, что и влагопринимающий. Он отдает влагу в окружающую среду. Третий слой - влаговпитывающий из гидрофильных волокон. Он расположен между первым и вторым слоями и представляет собой «депо» для впитывания влаги. В отличие от работы [1], влагопринимающий, влаговпитывающий и испаряющий слои такого трикотажа образуются не несколькими самостоятельными полотнами, а одним за счет особенностей плюшевого переплетения.

Важную роль в обеспечении гигиенических свойств изделия играет сырье, из которого оно произведено. Распространенным гидрофильным сырьем для производства трикотажных изделий является хлопчатобумажная пряжа, импортируемая в Республику Беларусь. Гидрофильным сырьем отечественного производства является льняная пряжа. Традиционный гидрофобный вид сырья для изготовления трикотажа - полиэфирные нити. Белорусское предприятие ОАО «СветлогорскХимволокно» в последние годы выпускает новые виды полиэфирных нитей с различным числом филаментов. Актуальной является задача создания трикотажа с улучшенными гигиеническими свойствами с применением сырья отечественного производства.

В работе [4] рассматривалась структура трикотажа футерованного переплетения для производства медицинских масок с повышенными гигиеническими свойствами. Предложено в качестве футерной нити использовать мультифиламентные нити производства ОАО «СветлогорскХимволокно», в качестве грунтовой – хлопчатобумажную пряжу. Футерная нить в этом случае формирует влагопринимающий слой, хлопчатобумажная пряжа – влаговпитывающий.

Таким образом, получить трикотаж с наличием влагопринимающего и влаговпитывающего слоев возможно, используя разные виды пере-

плетений. Простейшим таким переплетением является гладкое платированное. На рисунке 1 приведена схема структуры одинарного кулирного трикотажа платированного гладкого переплетения.

Петли образованы из двух нитей: грунтовой \boldsymbol{a} и платировочной \boldsymbol{b} . Платировочная нить образует петли 2 на лицевой стороне, а грунтовая – петли 1 на изнаночной стороне трикотажа [5].

Целью данной работы было определение влияния сырьевого состава трикотажа платированного переплетения на гигиенические свойства изделий и выработка рекомендаций по выбору сырья для формирования слоев такого трикотажа.

На однофонтурной кругловязальной машине AUTOSWIFT были изготовлены 16 вариантов экспериментальных образцов гибридного трикота-

жа платированного переплетения. В образцах скомбинированы между собой гидрофильные и гидрофобные виды сырья. В качестве гидрофильных выбраны льняная и хлопчатобумажная пряжа, в качестве гидрофобных – полиэфирные нити с числом филаментов 48 и 288 производства предприятия ОАО «Светлогорск Химволокно». Вид сырья и линейная плотность нитей образцов трикотажных полотен представлены в таблице 1.

В соответствии с ГОСТ 8845–87 [6] определена поверхностная плотность образцов трикотажа (таблица 1). Результаты измерений представлены на рисунке 2.

Минимальная поверхностная плотность у образца № 16 составляет 146,4 z/m^2 . Максимальная – у образца № 11, составляет 266,8 z/m^2 . Относительная разница между ними составляет 45 %.

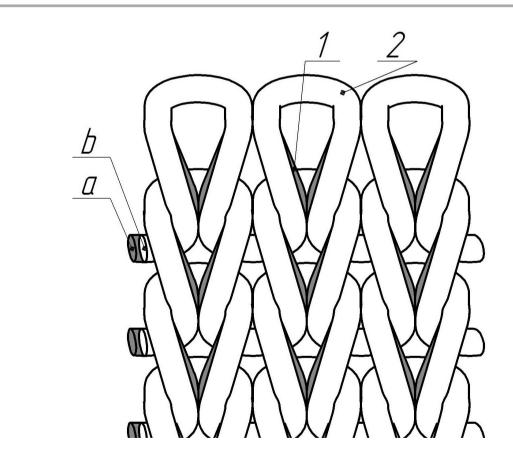


Рисунок 1 – Схема структуры одинарного кулирного трикотажа платированного гладкого переплетения

Таблица 1 – Характеј	зистика сь	เกษยยดรด	состава і	орразиов	тпикотажа

Danis	Вид и линейная пл	ютность нитей, текс
Вариант	Платировочная нить трикотажа	Грунтовая нить трикотажа
1	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс	Льняная пряжа 30 текс
2	Льняная пряжа 30 текс	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс
3	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс
4	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2
5	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2	Льняная пряжа 30 текс
6	Льняная пряжа 30 текс	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2
7	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2
8	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс
9	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2	Льняная пряжа 30 текс
10	Льняная пряжа 30 текс	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2
11	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2
12	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2
13	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс	Хлопчатобумажная пряжа 36 текс
14	Льняная пряжа 30 текс	Льняная пряжа 30 текс
15	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2	Полиэфирные нити (18,5 текс f48)×2
16	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2	Полиэфирные нити (16,7 текс f288)×2

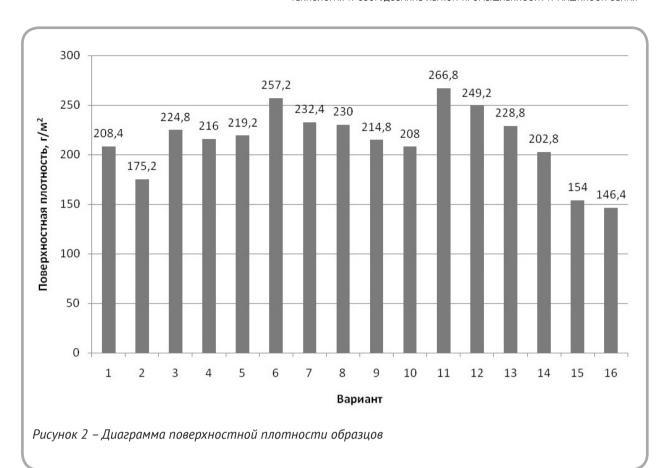
Гигроскопичность – важное свойство текстильных материалов, контактирующих с телом [3, 7]. Проведены исследования гигроскопичности образцов трикотажных полотен, указанных в таблице 1, в соответствии с действующей нормативной документацией ГОСТ 3816-87 [8]. На рисунке 3 представлена диаграмма гигроскопичности образцов.

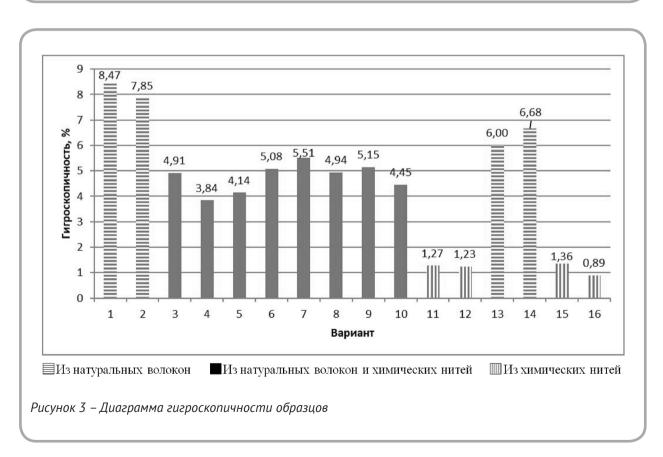
Трикотаж из полиэфирных нитей (варианты 11, 12, 15, 16) имеет самые низкие показатели гигроскопичности от 0,89 до 1,36 % среди всех вариантов. Трикотаж из хлопчатобумажной пряжи (вариант 13) или льняной пряжи (вариант 14), а также сочетающий эти виды пряжи (варианты 1, 2), имеет самые высокие показатели гигроскопичности от 6 до 8,4 %. Трикотаж из льняной или хлопчатобумажной пряжи в сочетании с полиэфирными нитями (варианты 3–10) составляет среднюю группу с показателями гигроскопичности от 3,84 до 5,51 %.

Среди образцов гибридного трикотажа, сочетающего разные виды сырья (варианты 1–12), можно выделить шесть пар, в которых трикотаж состоит из одинаковых видов сырья, располо-

женных на разных сторонах. При сопоставлении между собой диаграмм гигроскопичности (рисунок 3) и поверхностной плотности (рисунок 2) образцов одинакового сырьевого состава, например, 1 и 2, 3 и 4 и т. д., можно отметить, что большую гигроскопичность в парах имеет тот вариант трикотажа, у которого выше поверхностная плотность. Это говорит о влиянии структуры трикотажа на его гигроскопичность.

Известны нормируемые значения гигроскопичности [9]: для хлопчатобумажной пряжи – 7 %, для льняной пряжи – 10 %, для полиэфирных волокон – 1 %. Эти значения отличаются от гигроскопичности образцов трикотажа, изготовленных из этих видов сырья, исследованных в работе. Так, образец трикотажа варианта 13 из хлопчатобумажной пряжи имеет гигроскопичность 6 %, образец варианта 14 из льняной пряжи имеет гигроскопичность 6,68 %, образец варианта 15 из полиэфирных нитей с числом филаментов 48 имеет гигроскопичность 1,36 %, образец варианта 16 из полиэфирных нитей с числом филаментов 288 имеет гигроскопичность 0,89 %. Эти различия, установленные нами, объ-





ясняются влиянием структуры трикотажа на его свойства.

Таким образом, результаты проведенных испытаний гигроскопичности согласуются с данными из работ [1, 2]. Полученные данные позволяют сделать вывод о возможности использования льняной пряжи для формирования внешнего влаговпитывающего слоя трикотажа платированного переплетения с повышенными гигиеническими свойствами. Учитывая, что стоимость хлопчатобумажной пряжи ниже стоимости льняной пряжи [10], экономически целесообразно для формирования внешнего влагопринимающего испаряющего слоя использовать хлопчатобумажную пряжу с более низким, чем у льняной, но близким значением гигроскопичности. Внутренний влагопринимающий слой целесообразно формировать из мультифиламентных полиэфирных нитей (вариант 16), обладающих минимальной гигроскопичностью, что является одним из условий обеспечения эффекта «сухости» внутреннего слоя трикотажа. Полиэфирные нити с меньшим числом филаментов (вариант 15) хуже подходят для этой цели, потому что их гигроскопичность выше.

Для внутреннего влагопринимающего слоя важна способность передавать влагу во внешний влаговпитывающий испаряющий слой. Таким образом, для эффективного выбора сырья помимо гигроскопичности важно учитывать капиллярность [3, 11] внутреннего влагопринимающего слоя.

Исследована капиллярность образцов трикотажа вариантов 15 и 16, полностью состоящих из видов сырья, обеспечивающих низкую гигроскопичность, в соответствии с ГОСТ 3816-87 [8]. Капиллярность трикотажа варианта 16 из мультифиламентных полиэфирных нитей с числом филаментов 288 равна 20 мм. Это число значительно выше, чем капиллярность образца трикотажа варианта 15 из полиэфирных нитей с числом филаментов 48, составляющая 2 мм. Такую разницу можно объяснить наличием в нитях из 288 филаментов множества капилляров между отдельными филаментами, которые позволяют жидкости эффективно двигаться по ним. Полученные результаты подтверждают целесообразность использования полиэфирных нитей с большим числом филаментов для формирования внутреннего влагопринимающего слоя. Помимо малой гигроскопичности они обеспечивают эффективный в сравнении с нитями с малым числом филаментов отвод влаги прилегающим к коже слоем от тела человека, что помогает усилить эффект «сухости» двухслойного трикотажа платированного переплетения.

Для внешнего влаговпитывающего слоя желательна высокая интенсивность испарения впитанной им влаги. Таким образом, помимо гигроскопичности целесообразно оценить скорость высыхания внешнего слоя. Среди стандартов, регламентирующих исследования процесса высыхания влаги, применяемых в Республике Беларусь, используется ГОСТ 30157.1-95 [12]. Однако он не позволяет сравнить образцы по проценту массы испаренной влаги за определенное время. Поэтому процесс высушивания образцов трикотажа вариантов 13 и 14, полностью состоящих из видов сырья, обеспечивающих высокую гигроскопичность полотна, исследован по методу нанесения капли [13, 14]. Для определения скорости высыхания образцы трикотажа вариантов 13 и 14 были взвешены с использованием лабораторных весов с точностью 0,001 г. Образцы были удалены с чашки весов, и одна капля воды помещена на их изнаночные стороны. Затем образцы трикотажа были помещены на чашку весов лицевой стороной вверх и взвешены. Масса капли на льняном образце составила 88 мг, на хлопчатобумажном образце -78 мг. Разница обусловлена невозможностью получить капли полностью одинаковой массы. Через равные промежутки времени проводилась регистрация значений массы образцов с каплей до достижения неизменной массы образцов. На основе полученных данных о массе влаги в разные моменты времени построены кривые сушки образцов, представленные на рисунке 4.

Скорость высыхания v, %/mun, оценивалась как процент испаренной влаги за период времени, прошедший с начала испытания, по формуле:

$$v = \frac{\frac{m_0 - m_t}{m_0} \cdot 100}{t} \quad , \tag{1}$$

где t – время, прошедшее с начала испытания,

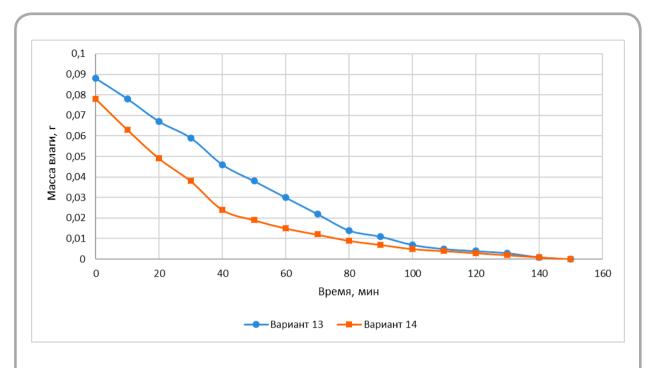


Рисунок 4 – Кривые сушки образцов

Таблица 2 – Значения средней скорости высыхания образцов

Вариант	Средняя скорость высыхания $t = 30 \ mun, \%/mun$	Средняя скорость высыхания $t = 60 \ muh, \%/muh$	Средняя скорость высыхания $t = 90 \ mun, \%/mun$				
13	1,10	1,10	0,97				
14	1,71	1,35	1,01				

muh; m_t – масса влаги в момент времени t, z; m_0 – масса влаги вначале испытания сразу после нанесения капли (в момент времени t = 0), z.

В таблице 2 приведены скорости высыхания образцов трикотажа в моменты времени 30 *мин*, 60 *мин* и 90 *мин*.

Льняной образец имеет большую скорость высыхания, чем хлопчатобумажный, на протяжении всего испытания. При этом скорость высыхания хлопчатобумажного образца близка к равномерной и изменяется на 0,13 %/мин за период времени между 30 и 90 минутами испытания. Скорость высыхания льняного образца максимальна в первые 40 минут испытания, и далее уменьшается. Она изменяется на 0,70 %/мин за период времени между 30 и 90 минутами испытания испытания в первые 40 минутами испытания испытания в период времени между 30 и 90 минутами испытания испытания

тания. Максимальная разница скоростей высыхания в каждый момент времени не превышает 1 %/мин. Таким образом, скорости высыхания образцов близки, при этом наблюдается преимущество трикотажа из льняной пряжи перед образцом из хлопчатобумажной пряжи. Оба вида пряжи имеют свои достоинства и недостатки в качестве вида сырья для влагопринимающего слоя. Льняная пряжа имеет большую гигроскопичность и скорость высыхания по сравнению с хлопчатобумажной, у хлопчатобумажной пряжи доступнее цена, чем у льняной.

Приведенным выше рекомендациям по выбору сырья для формирования слоев соответствуют образцы трикотажа вариантов 4, 10 (таблица 1). На изнаночной стороне обоих об-

разцов расположены мультифиламентные полиэфирные нити. Большое число филаментов создает объемную пористую структуру такой нити. Для повышения гигиенических свойств изделий, изготовленных из гибридного двухслойного кулирного трикотажа платированных переплетений, слой, сформированный из этих нитей, должен быть обращен к источнику влаги, например, внутренняя поверхность бельевого изделия, обращенная к коже. Мультифиламентные нити, не впитывая влагу, передают ее во внешний слой из хлопчатобумажной или льняной пряжи. Таким образом, создается эффект «сухости» изделия в условиях повышенного потоотделения.

Научная значимость работы состоит в установлении новых данных о свойствах кулирного одинарного гибридного трикотажа платированных гладких переплетений из отечественного сырья – полиэфирных нитей с различным числом филаментов: 48 и 288, а также сочетаний этих гидрофобных нитей с наиболее используемыми в производстве трикотажа гидрофильной хлопчатобумажной пряжей и перспективной в этом отношении льняной пряжей, также производимой в Республике Беларусь.

Полученные конкретные значения капиллярности и гигроскопичности гибридного трикотажа платированных гладких переплетений могут быть использованы для формирования изделий бельевого и спортивного ассортимента.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Колесников, Н. В. (2012), Исследование влаговыводящих свойств функциональных трикотажных полотен бельевого назначения, *Технология текстильной промышленности*, № 1(337), С. 15–17.
- 2. Катаева, С. Б., Немирова, Л. Ф., Ташпулатов, С. Ш., Муминова, У. Т., Жилисбаева, Р. О. (2019), Исследование трикотажных полотен для термобелья повседневного использования, *Технология текстильной промышленности*, № 5(383), С. 154–158.
- 3. Charkovskij, A., Bykouski, D., Samoilov, A. (2022), Development of the Lower Limb Stump Prosthetic Sock, *AIP Conference Proceedings*, № 2430, C. 080001-1-080001-5.
- 4. Чарковский, А. В., Береснев, В. И., Быковский, Д. И. (2020), Разработка перспективой структуры трикотажного материала для изготовления медицинских масок, Вестник витебского государственного технологического университета, № 1(38), С. 134–141.

REFERENCES

- 1. Kolesnikov, N. V. (2012), Research of the water transpiration properties of functional knitted fabrics for underwear [Issledovanie vlagovyvodjashhih svojstv funkcional'nyh trikotazhnyh poloten bel'evogo naznachenija], *Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti − Textile Industry Technology*, 2012, № 1 (337), pp. 15–17.
- 2. Kataeva, S. B., Nemirova, L. F., Tashpulatov, S. Sh., Muminova, U. T., Zhilisbaeva, R. O. (2019), Research of knitted fabrics for daily use thermal fabric [Issledovanie trikotazhnyh poloten dlja termobel'ja povsednevnogo ispol'zovanija], *Teknologiya Tekstil'noi Promyshlennosti Textile Industry Technology*, 2019, № 5(383), pp. 154–158.
- 3. Charkovskij, A., Bykouski, D., Samoilov, A. (2022), Development of the Lower Limb Stump Prosthetic Sock, *AIP Conference Proceedings*, № 2430, pp. 080001-1-080001-5.
- 4. Charkovskij, A. V., Beresnev, V. I., Bykouski, D. I. (2020), Development of a perspective structure of knitted material for the production of medical masks [Razrabotka perspektivo]

- 5. Шалов, И. И., Далидович, А. С., Кудрявин, Л. А. (1986), *Технология трикотажа*, Москва, Легпромбытиздат, 376 с.
- 6. ГОСТ 8845–87. Полотна и изделия трикотажные. Методы определения влажности, массы и поверхностной плотности, Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2002, 8 с.
- 7. Zhou, L., Zhang, P. H., Shen, W., Xie, M. D. (2011), Fiber Hygroscopicity Affects Thermo-Moisture Comfort of Elastic Knitted Fabric, *Advanced Materials Research*, T. 332-334, C. 731–734.
- 8. ГОСТ 3816-87. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств, Москва: ИПК Изд-во стандартов, 1998, 14 с.
- 9. Коган, А. Г., Баранова, А. А. (2011), Физико-механические свойства пряжи. Методические указания к выполнению курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 1-50 01 01 «Технология пряжи, тканей, трикотажа инетканых материалов», Витебск, УО «ВГТУ», 44 с.
- 10. Тавгень, Е., Вразалица, А. (2021), Мировой рынок льняной продукции: обзор, *Наука и инновации*, № 8(222), С. 61–67.
- 11. Çil, M. G., Nergis, U. B., Candan, C. (2016), An Experimental Study of Some Comfort-related Properties of Cotton-Acrylic Knitted Fabrics, *Textile Research Journal*, 2016, T. 28, № 6, C. 917–923.
- 12. ГОСТ 30157.1-95. Полотна текстильные. Методы определения изменения размеров после мокрых обработок или химической чистки, Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001, 12 с.
- 13. Патент РФ № 2010105551/12А. Трикотажное полотно и одежда нижнего слоя с улучшенными термозащитными свойствами, изготовленная из него, подача заявки: 15.07.2008.

- struktury trikotazhnogo materiala dlja izgotovlenija medicinskih masok], *Vestnik vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta – Vestnik of Vitebsk State Technological University*, 2020, № 1(38), pp. 134– 141.
- 5. Shalov, I. I., Dalidovich, A. S., Kudryavin, L. A. (1986), *Tehnologija trikotazha* [Knitting technology], Moscow, 376 p.
- 6. GOST 8845–87. Knitted fabrics and garments. Methods for determination of moisture, mass and surface density, Moscow: IPK Standards Publishing House, 2002, 8 p.
- 7. Zhou, L., Zhang, P. H., Shen, W., Xie, M. D. (2011), Fiber Hygroscopicity Affects Thermo-Moisture Comfort of Elastic Knitted Fabric, *Advanced Materials Research*, 2011, V. 332-334, pp. 731–734.
- 8. GOST 3816–87. *Textile fabrics. Methods for determination of hygroscoric and water-repellent properties*, Moscow: IPK Standards Publishing House, 1998, 14 p.
- 9. Kogan, A. G., Baranova, A. A. (2011), Fiziko-mehanicheskie svojstva prjazhi. Metodicheskie ukazanija k vypolneniju kursovyh i diplomnyh proektov dlja studentov special'nosti 1-50 01 01 "Tehnologija prjazhi, tkanej, trikotazha inetkanyh materialov" [Physical and mechanical properties of yarn. Methodical instructions for course and diploma projects for students of the specialty 1-50 01 01 "Technology of yarn, fabrics, knitwear and nonwoven materials"], Vitebsk, 44 p.
- 10. Tavgen', E., Vrazalica, A. (2021), World market for linen products: an overview [Mirovoj rynok l'njanoj produkcii: obzor], *Science and Innovation*, 2021, № 8(222), pp. 61–67.
- 11. Çil, M. G., Nergis, U. B., Candan, C. (2016), An Experimental Study of Some Comfort-related Properties of Cotton-Acrylic Knitted Fabrics, *Textile Research Journal*, 2016, V. 28, Nº 6,

14. Шелепова, В. П., Лобацкая, Е. М. (2018), Строение и свойства трикотажа для функционального белья, Материалы докладов 51-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов в двух томах, Т. 2, Витебск, 2018, С. 252–255.

pp. 917-923.

- 12. GOST 30157.1-95. Textile fabrics. Methods of measures changes determination after wet treatments and chemical cleaning. Modes of treatments, Moscow: IPK Standards Publishing House, 2001, 12 p.
- 13. Patent RF № 2010105551/12A. Knitted fabric and clothing of the lower layer with improved thermal protection properties, made of it, filled date: 15.07.2008.
- 14. Shelepova, V. P., Lobackaja, E. M. (2018), Structure and properties of knitted fabric for functional underwear [Stroenie i svojstva trikotazha dlja funkcional 'nogo bel'ja], *Proceedings of the 51th International scientific and technical conference of teachers and students in two volumes*, V. 2, Vitebsk, 2018, pp. 252–255.

Статья поступила в редакцию 17.05.2022 г.

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ЭКОЛОГИЯ

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ СМЕСИ РАСТИТЕЛЬНОГО И МИНЕРАЛЬНОГО МАСЕЛ

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY LUBRICANTS BASED ON THE MIXTURE OF THE VEGETABLE AND MINERAL OILS

УДК 669.018.95

В.И. Жорник, А.В. Ивахник, А.В. Запольский

Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-99-114

V. Zhornik*, A. Ivakhnik, A. Zapolsky

Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Science of Belarus

РЕФЕРАТ

ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МАСЛА, ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ, СМЕСЬ РАСТИТЕЛЬНОГО И МИНЕРАЛЬНОГО МАСЕЛ, РЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ТРИБОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, БИОРАЗЛАГАЕМОСТЬ

Исследованы особенности формирования структуры и свойств экологически безопасных смазочных материалов (ЭБ СМ) на основе смеси растительного и минерального масел. С использованием результатов экспериментальностатистического моделирования отработаны рецептура и режимы получения мыльной литийкальциевой пластичной смазки и жидкого смазочного материала. Показано, что для получения ЭБ СМ в качестве минерального компонента масляной композиции целесообразно использовать высокоочищенное масло III группы по стандарту АРІ, которое характеризуется как высокими реологическими и трибологическими свойствами, так и улучшенными экологическими качествами. Описан способ получения экологически безопасной пластичной смазки со смешанной дисперсионной средой (смесь рапсового и минерального III группы по стандарту АРІ масел), позволяющий уменьшить вредное влияние воды и высокой температуры на растительный компонент дисперсионной среды и повысить свойства смазки. Эта смазка имеет более высокие реологические (температура каплепадения – 180 °C, коллоидная стабильность – 8 %) и трибологические (на-

ABSTRACT

ENVIRONMENTALLY FRIENDLY LUBRICANTS, OILS, GREASES, MIXTURE OF VEGETABLE AND MINERAL OILS, RHEOLOGICAL AND TRIBOLOGICAL PROPER-TIES, BIODEGRADABILITY

The features of the formation of the structure and properties of the environmentally friendly lubricants (EFL) based on the mixture of the vegetable and mineral oils are investigated. The formulation and technological regimes of the manufacturing of the soap lithium-calcium grease and liquid lubricant were developed using the results of experimental and statistical modeling. It is shown that for the production of the EFL the highly purified oil of group III according to the API standard is advisable to use as the mineral component of the oil composition, that is characterized by high rheological and tribological properties as well as improved environmental qualities. The obtaining method of the environmentally friendly grease with the mixed dispersion medium (the mixture of the rapeseed and mineral group III according to the API standard oils) is described, that allows to reduce the harmful effects of the water and high temperature on the vegetable component of the dispersion medium and to improve the properties of the grease. This grease has higher rheological (temperature dropping point – 180 °C, colloidal stability – 8 %) and tribological (welding load – 1960 N, wear index – $0,46 \, mm$) values than the greases thickened with the single lithium (grease Litol-24) or the single

^{*} E-mail: zhornikv@gmail.com (V. Zhornik)

грузка сваривания – 1960 **H**, показатель износа – 0,46 **мм**) свойства, чем смазки, загущенные простым литиевым (смазка Литол-24) или простым кальциевым (смазка Солидол C) мылом. Разработано масло для смазывания пильных цепей, изготовленное из отечественного сырья и по своим параметрам соответствующее маслу-аналогу марки Husqvarna Bio Advanced. Биоразлагаемость разработанных экологически безопасных жидкого и пластичного смазочных материалов составляет 93 % и 89 % соответственно, при этом разработанные ЭБ СМ характеризуются высокой стабильностью (в течение не менее 12 месяцев) реологических и трибологических свойств.

calcium (grease Solidol C) soap. The lubricating oil for the saw chains made from domestic raw materials is developed, that has the parameter similar to the analog oil of the Husqvarna Bio Advanced brand. The biodegradability of the developed environmentally friendly liquid and plastic lubricants is 93 % and 89 % respectively, while the developed EFLs are characterized by high stability (for at least 12 months) of the rheological and tribological properties.

ВВЕДЕНИЕ

Экологическая безопасность - это достижение условий и уровня сбалансированного сосуществования окружающей природной среды и хозяйственной деятельности человека, когда уровень нагрузки на среду не превышает способности её к восстановлению. Одним из направлений обеспечения экологической безопасности является использование биоразлагаемых материалов. Под биоразлагаемостью материалов понимается расщепление органических веществ на составляющие естественным путём в результате протекания биохимических процессов под влиянием микроорганизмов (бактерий, грибов), а также других биологических процессов, чему способствует наличие воды, кислорода воздуха, повышенной температуры, солнечного излучения и т. д. В результате процесса полного биоразложения образуются наиболее безопасные для окружающей среды компоненты (диоксид углерода, вода, различные минеральные соли). В современных условиях проблема экологической безопасности приобретает особую актуальность ввиду интенсивного развития практически всех сфер деятельности человека с резко возросшими объемами потребления природных ресурсов и перегруженностью экосистемы планеты производственными и бытовыми отходами [1, 2].

Смазочные материалы (СМ), в принципе, все подвержены биоразложению, однако их разложение протекает с различной скоростью, и эти

материалы, строго говоря, должны разделяться на две категории: а) биологически разлагаемые; б) биологически быстро разлагаемые. Смазочные материалы, изготовленные на основе нефти (на минеральной базе), плохо поддаются биоразложению, и их следует относить к категории а), поскольку разложение таких материалов протекает в течение многих месяцев или даже лет. Однако на практике чаще всего биоразлагаемыми называют смазочные материалы категории б), которые в грунте и воде под воздействием микроорганизмов полностью разлагаются за несколько недель без вреда для природы, а смазочные материалы, изготовленные на основе минеральных масел, относят к «биологически неразлагаемым» или «биологически трудно разлагаемым». В процессе биоразложения микроорганизмы преобразуют состоящие из углеводородных соединений масла в углекислый газ (CO_{\circ}) , воду $(H_{\circ}O)$ и ячейковую субстанцию. Биоразлагаемые смазочные материалы рекомендуются к применению в узлах трения машин и механизмов в тех областях, где возможно их попадание в грунт или водоёмы либо в силу технологически обусловленных причин (двухтактные двигатели внутреннего сгорания, цепные пилы лесозаготовительной или деревообрабатывающей техники и др.), либо в результате непредвиденного нарушения герметичности узлов трения сельскохозяйственных и лесозаготовительных машин, транспорта, строительного оборудования и др. [3-5].

Смазочные материалы по агрегатному состоянию подразделяются на жидкие (масла), пластичные, твердые и газообразные, при этом наибольшее распространение на практике получили масла и пластичные смазки. Для технических целей чаще всего применяются минеральные (нефтяные) или синтетические (полисилоксаны, полигликоли, сложные эфиры, перфтор- и перхлоруглероды и др.) масла, реже – масла растительного и животного происхождения. Технические масла состоят из базового масла и разного вида присадок и предназначены для применения в различных устройствах и механизмах в качестве рабочих и смазывающих жидкостей. Пластичные смазочные материалы (ПСМ) условно можно рассматривать как двухкомпонентные системы, состоящие из дисперсионной среды (масла) и дисперсной фазы (загустителя), при этом дисперсионная среда составляет 75-95 % объема смазки. При том, что тип загустителя существенно влияет на реологические и трибологические свойства смазки, её биоразлагаемость в большей степени определяется биоразлагаемостью масла [6-8].

Из всех типов масел наиболее высокой степенью биоразлагаемости характеризуются растительные масла, а также сложные синтетические эфиры и полигликоли. Однако ввиду наличия некоторых отрицательных моментов, включая быструю окисляемость и низкую термостойкость растительных масел, а также высокую стоимость синтетических масел, более рациональным представляется использование в качестве базового масла для экологически безопасных смазочных материалов (ЭБ СМ) смеси в определенных пропорциях растительного и минерального масел.

Цель работы – разработка жидких и пластичных смазочных материалов для применения в условиях с повышенными требованиями к экологической безопасности. Разработка новых смазочных материалов осуществлялась на основе изучения процессов структурообразования, с отработкой компонентных составов и технологических режимов получения, с исследованием их реологических и трибологических свойств, а также оценкой биоразлагаемости.

Материалы и методы исследований

Для изготовления образцов ЭБ CM на основе смеси растительного и минерального ма-

сел использовались: масло рапсовое (ГОСТ 31759-2012) производства ООО «РАПС», масла индустриальные марок И-30А, И-40А, И-50А (ГОСТ 20799-88), масло высокоочищенное III группы по стандарту АРІ марки НС-4 (ТУ ВУ 300042199.037-2015) производства ОАО «НАФ-ТАН», кислота 12-гидрооксистеариновая (ТУ 38 101 721), гидроокись кальция (ГОСТ 9262-77), моногидрат гидроокиси лития (ГОСТ 8595-83), депрессорная присадка К-110 (ТУ 0257-037-40065452-03), адгезионная присадка Petrolad 484 BD (производства компании «BRB»), многофункциональная присадка ДФ-11(ТУ 0257-005-00044434-99), пластичная смазка OIMOL KSC ВІО (ТУ ВУ 190410065.023-2021) производства ОДО «Спецсмазки».

Исследование структуры дисперсной фазы экологически безопасной пластичной смазки с использованием сканирующей электронной микроскопии проводилось по методике, аналогичной с методикой препарирования смазок на минеральной основе [9]. Уровень качества пластичной смазки оценивался в соответствии со стандартизованными методиками по показателю пенетрации (ГОСТ 5346-78), температуре каплепадения (ГОСТ 32322-2013), коллоидной стабильности (ГОСТ 7142-74), механической стабильности (ГОСТ 19295-73), массовой доле механических примесей (ГОСТ 1036-75), содержанию воды (ГОСТ 1547-84). Показатели качества жидкого смазочного материала включали вязкость кинематическую при 40 и $100~^{\circ}C$ (ГОСТ 33-2016), индекс вязкости (ГОСТ 2537-2018), плотность (ГОСТ 3900-85), температуру вспышки (ГОСТ 4333-2014), температуру застывания (ГОСТ 20287-91). Трибологические характеристики смазочных материалов определялись на четырёхшариковой машине трения (ГОСТ 9490-75), а их биоразлагаемость оценивалась по методике, описанной в [10] и дающей результаты, согласующиеся с результатами, полученными по ГОСТ 32552-2015.

Анализ полученных результатов

Выбор компонентов смешанной дисперсионной среды. В соответствии с классификацией базовых масел по стандарту API (American Petroleum Institute) все базовые масла делятся по их химическому составу на шесть групп, представленных в таблице 1.

Таблица 1 –	Кпассификациа	базовых масел	nn	стандарту АРІ
Tuomuuu 1 –	Miuccuwunuuun	DUSUBBIA MULCII	110	CITIUNUUDIIIV ALI

Группа	Содержание серы, % масс	Насыщенные углеводороды, % масс	Индекс вязкости (ИВ)		
I	> 0,03 и/ или	80-120			
Ш	≤ 0,03	≥ 90	80-120		
III	≤ 0,03	≥ 90	> 120		
IV		Все поли-альфа-олефины (ПАО)			
V	Все базовые	масла, не включенные в группы	ы I–IV или VI		
VI	Продукты олигомери	изации олефинов с внутренним	и двойными связями		

При этом к группе I относятся высоковязкие масла, полученные с помощью селективной очистки, к группе II относятся гидрогенизированные масла или масла, полученные с помощью гидрокрекинга (с содержанием серы $< 300 \ ppm$), а к группе III – исключительно высоковязкие масла, полученные при жёстких условиях протекания процесса гидрокрекинга и/или изомеризации парафинов (ИВ > 120, концентрация серы $< 300 \ ppm$).

Сравнение эффективности применения базовых масел различной природы (минеральных, синтетических, растительных) крайне затруднено, так как они являются продуктами, существено различающимися по отдельным свойствам и стоимости. Тем не менее анализ данных таблицы 2 с учётом ценового фактора позволяет заключить, что для получения смазочного материала,

рационально сочетающего в себе технико-экономические показатели и экологический аспект, перспективным является использование в качестве дисперсионной среды смеси масел различной природы, например, растительных и минеральных (или синтетических).

Растительные масла состоят, главным образом, из триглицеридов жирных кислот, и их химическая активность обусловлена, в большей степени, содержащимися в них ненасыщенными жирными кислотами. В молекулярном строении полиненасыщенных кислот присутствуют двух- и трёхкратные двойные связи, и это придаёт растительным маслам функции природных поверхностно-активных веществ, благоприятно влияя на их трибологические свойства, что проявляется в формировании граничных слоёв с низким сопротивлением сдвигу и повышении износо-

Таблица 2 – Ранжирование базовых масел по показателям качества [12]

Тип базового масла	Стабильность при высоких температурах	Стабильность при низких температурах	Старение	Характеристика потерь на испарение	Характеристика токсичности	Вязкостно- температурная зависимость	Усредненное значение качества
Нафтеновые минеральные масла	2,0	2,0	1,5	2,5	2,5	2,5	2,2
Гидрокрекинговые масла (III группа)	1,5	3,0	2,0	2,0	2,0	1,5	2,0
Поли-альфа-олефины	1,0	1,0	1,0	2,0	1,5	1,5	1,3
Растительные масла	2,5	2,0	3,0	2,0	1,0	2,0	2,0

Примечание. Уровень свойств: 1,0 – отлично; 2,0 – удовлетворительно; 3,0 – плохо.

стойкости твёрдых тел [8, 11]. Однако, с другой стороны, наличие ненасыщенных кислот является причиной относительно лёгкой окисляемости и низкой термической стойкости растительных масел, окисление которых, интенсифицирующееся при повышении температуры, протекает через присоединение молекул кислорода по месту двойных связей в ненасыщенных веществах растительных масел с образованием циклической перекиси и повышением кислотного числа масла [4].

Гидрогенизация и гидрокрекинг при производстве базовых масел III группы оказывают существенное влияние на химическую структуру молекул веществ, входящих в минеральные масла. При этом происходит как стабилизация отдельных молекул вследствие удаления гетероатомов (сера, кислород, азот), так и превращение ароматических соединений в насыщенные нафтеновые или парафиновые углеводороды вследствие их глубокой гидрогенизации. В дополнении к гидрогенизации гидрокрекинг разрушает или крекирует крупные молекулы на более мелкие. При этом из мелких фрагментов могут вновь образовываться крупные молекулы с более упорядоченной и однородной структурой [6]. Таким образом, главным результатом гидрокрекинга является изомеризация парафинов, при этом наряду с насыщением ароматических соединений происходит размыкание нафтеновых колец. Все эти процессы приводят к практически полному удалению из базового масла канцерогенных и патогенных веществ, которые могут подавлять рост количества микроорганизмов, размножающихся в процессе биоразложения. Данный факт делает перспективным применение базовых масел III группы в экологически безопасных биоразлагаемых смазочных материалах. Гидрокрекинговые масла имеют одинаковое с маслами растительного происхождения усредненное значение качества. При разработке ЭБ СМ крайне важны токсикологические показатели их компонентов, которые у масел III группы несколько лучше, чем у нафтеновых минеральных, но ниже, чем у большинства технических растительных масел. Уступая растительным маслам по степени биоразлагаемости, масла III группы превосходят их по термической стойкости и характеризуются более низкой окисляемостью [12].

В данных исследованиях для создания ЭБ СМ в качестве дисперсионной среды использовалась смесь растительного (рапсового) и минерального (III группы по стандарту API) масел.

Отработка компонентного состава экологически безопасного жидкого смазочного материала. Для приготовления жидкого ЭБ СМ использовались комбинация индустриальных масел марок И-30А, И-40А и И-50А, масло рапсовое, адгезионная присадка Petrolad 484BD и пластичная смазка OIMOL KSC BIO (в качестве противоизносной присадки). Отработка компонентного состава жидкого ЭБ СМ проводилась при изменении содержания растительного масла в композиции в пределах $C_{pm} = 75-85 \; macc.\%$ и варьировании кинематической вязкости комбинации минеральных масел при температуре 40 °C в диапазоне v_{40m} = 40–96 mm^2/c . Концентрация адгезионной присадки Petrolad 484BD изменялось в пределах $C_{qq} = 0.5-1.5$ **масс.**%, а содержание смазки OIMOL KSC BIO - 1,0-3.0 *масс*.%. Показателями качества экологически безопасного жидкого смазочного материала являлись его кинематическая вязкость при температуре 40 $^{\circ}C$ $v_{_{406m}}$ и температура застывания

Оптимизация компонентного состава жидкого смазочного материала осуществлялась на основе экспериментально-статистической модели, построенной с использованием метода математического планирования эксперимента [13]. Анализ полученных зависимостей показал, что для получения жидкого биоразлагаемого смазочного материала на основе смеси растительного и минерального масел с реологическими характеристиками, соответствующими кинематической вязкости при 40 $^{\circ}C$, равной v_{406m} = 35-55 mm^2/c , и температуре застывания T, не выше минус 25 °C, его рецептура должна соответствовать следующим условиям: содержание растительного компонента $C_{pm} = 77,5 \pm$ ±2,5 *масс*. %, кинематическая вязкость минерального компонента $v_{40mm} = 50\pm 5 \ mm^2/c$, содержание адгезионной присадки $C_{qq} = 1,25\pm$ ±0,25 *масс.*%. Продолжительность приготовления масляной смеси на стадии охлаждения 60 мин.

С целью оценки трибологических характеристик были проведены испытания отдельных

компонентов (минеральное масло И-40A, рапсовое масло) и состоящей из них базовой основы в сравнении с выбранным в качестве аналога маслом марки Husqvarna Bio Advanced, используемым для смазывания пильных цепей. Результаты испытаний по определению несущей способности и предельной нагрузочной способности смазочных материалов, проведенных в соответствии с ГОСТ 9490-75, представлены в таблице 3.

Из анализа представленных данных можно сделать вывод, что масло для пильных цепей Husgvarna Bio Advanced имеет существенно более высокие нагрузочные характеристики по сравнению с минеральным маслом И-40А. Так, у масла Husqvarna Bio Advanced нагрузка сваривания составила P_c = 2763 H, а критическая нагрузка P_{κ} = 872 H, в то время как у минерального масла И-40А эти показатели имеют следующие значения: P_c = 1234 H и P_{κ} = 617 H. При этом следует отметить, что нагрузочные характеристики чистого рапсового масла также достаточно высоки ($P_e = 2450 \, H, P_v = 872 \, H$), хотя рапсовое масло несколько уступает по этим показателям маслу Husqvarna Bio Advanced. Разработанная базовая основа за счёт содержания в своём составе минерального масла И-40А также имеет более низкие нагрузочные характеристики (P_{a} = = 2195 H, P_v = 617 H), чем масло-аналог, в связи с чем потребовалось введение специальных добавок (присадок) для повышения трибологических характеристик базовой композиции.

Поскольку большинство традиционных противоизносных присадок представляют собой сложные химические соединения на основе цин-

ка, свинца, фосфора и серы, то такие соединения, как правило, канцерогенны. В качестве трибологической добавки в данном случае была использована биоразлагаемая смазка OIMOL KSC ВІО [14, 15]. Данная пластичная смазка получена загущением смеси растительного и минерального III группы масел комплексной сульфонат кальциевой дисперсией, которая представляет собой отдельные микромицеллы с индивидуальным наноразмерным ядром в составе нескольких солей и стабилизирующей оболочки из амфифильных жидкокристаллических полимеров, образующих макромицелярную трёхмерную структуру. Благодаря амфифильной полимерной оболочке обеспечивается сродство с растительным маслом, которое значительно более полярно, чем минеральное масло. Благодаря этому подобные смазки обеспечивают хороший загущающий эффект в растительных маслах и высокую стабильность свойств. При тщательном диспергировании пластичной смазки в среде базовой основы происходит разрушение трёхмерной структуры загустителя и его распадение на отдельные активированные ассоциаты микромицелл. Данные мицеллы обладают хорошей седиментационной стабильностью в растительном масле, а также характеризуются отличными противоизносными качествами, свойственными сверхщелочным сульфонатам кальция [7, 15]. Для установления оптимального содержания этой добавки, обеспечивающего трибологические свойства смеси рапсового и минерального масел на уровне масла Husqvarna Bio Advanced, в соответствии с ГОСТ 9490-75 были проведены исследования

Таблица 3 – Н	Таблица 3 – Нагрузочные характеристики смазочных материалов при испытаниях на ЧМТ													
Нагрузочные ряды	н	617	784	872	980	1097	1234	1470	1568	1960	2195	2450	2763	
Диаметр пятна износа, м.м	Масло И-40	0,41	2,16	2,30	2,54	2,86	3,00							
	Рапсовое масло	0,5	1,1	1,22	1,67	2,11	2,17	2,29	2,38	2,54	2,68	3,00		
	Масло Husqvarna Bio Advanced	0,4	0,6	1,02	1,48	1,97	2,05	2,08	2,12	2,33	2,53	2,67	3,00	
	Разработанная базовая основа	0,56	1,64	1,85	2,07	2,11	2,12	2,24	2,38	2,83	3,00			

по оценке противоизносных свойств различных смазочных материалов путём определения показателя износа \boldsymbol{D}_u при нагрузке 196 \boldsymbol{H} и продолжительности испытания 1 \boldsymbol{u} , результаты которых приведены в таблице 4.

Анализ данных таблицы 4 свидетельствует о том, что введение 2,0 *масс*.% смазки OIMOL KSC BIO в разработанную базовую основу позволило достичь уровня противоизносных свойств разработанной смазочной композиции, не уступающего значению этого показателя для масла-аналога Husqvarna Bio Advanced. Содержание этой добавки в количестве менее 2 *масс*.% не обеспечивает высоких противоизносных свойств смеси масел, очевидно, ввиду отсутствия сплошности масляной плёнки в зоне трибоконтакта из-за недостаточной её толщины, а при содержании добавки более 2 *масс*.%, вероятно, начинает сказываться её влияние на вязкостные свойства смеси масел за счёт загущающих качеств

ассоциатов микромицелл сульфонат кальциевой смазки. По нагрузке сваривания разработанная базовая основа, содержащая 2,0 $\mathit{macc.\%}$ смазки OIMOL KSC BIO, также соответствует уровню значений этого показателя для масла Husqvarna Bio Advanced (P_c = 2763 H).

Для смазочных материалов, в особенности биоразлагаемых, одним из важнейших параметров, характеризующих их качество, является сохранение свойств в период заданного срока хранения и при эксплуатации. В связи с этим осуществлялась оценка стабильности свойств жидкого ЭБ СМ при хранении в герметичной таре при температуре $+5...+25~^{\circ}C$ в течение 6 и 12 месяцев, результаты которой приведены в таблице 5. Отсутствие изменения содержания механических примесей свидетельствует о том, что при хранении не происходят химические превращения в составе комплексной сульфонат кальциевой добавки и отсутствует агломери-

Таблица 4 – Противоизносные характеристики масел и разработанной композиции

Материал	Содержание добавки, масс.%	Показатель износа $oldsymbol{D}_u$, $oldsymbol{m}oldsymbol{m}$
Масло И-40А	-	0,65
Рапсовое масло	-	0,49
Масло Husqvarna Bio Advanced	-	0,41
	1,0	0,47
Разработанная базовая основа с различным содержанием добавки OIMOL KSC BIO	2,0	0,40
содержанием добавки опмос кое вто	3,0	0,42

Таблице	Таблица 5 – Результаты испытаний жидкого ЭБ СМ												
Срок хранения масла, жес	Вязкость кинематическая, mn^2/c , при $100{}^{\circ}C$	Вязкость кинематическая, mm^2/c , при $40\ ^{\circ}C$	Индекс вязкости, не менее	Плотность, $\kappa z/m^3$	Температура вспышки, ${}^{\circ}C$	Температура застывания, $^{\circ}C$	Массовая доля механи- ческих примесей, $\mathit{macc}.\%$	Содержание воды, %	Критическая нагрузка, H	Нагрузка сваривания, H	Показатель износа при нагрузке 200 H,mm		
0	9,9	47,3	202	925	282	- 29	0,011	отс.	872	2763	0,40		
6	10,2	48,5	204	925	282	-29	0,011	отс.	872	2763	0,38		
12	10,5	49,3	209	926	279	-27	0,012	отс.	872	2763	0,37		

рование твёрдых частиц. Изменения реологических и трибологических свойств находятся в пределах, не превышающих точность измерения.

Отработка компонентного состава экологически безопасного пластичного смазочного материала. В общем случае процесс образования дисперсной фазы (ДФ) пластичной смазки происходит в две стадии: а) образование первичных мицелл (центров кристаллизации), их рост и развитие до макроассоциатов определённых размеров; б) создание трёхмерной объёмной структуры в результате взаимодействия образующихся дисперсных макроассоциатов друг с другом. Процесс роста частиц регулируется степенью пресыщения раствора, а соотношение скорости образования зародышей и скорости их роста в зависимости от свободной поверхностной энергии мицелл и степени пресыщения молекул мыла в растворе определяет конечные размеры элементов структурного каркаса. Так, в случае большей скорости образования зародышей структура дисперсной фазы имеет вид большого числа мелкоразмерных, разветвлённых волокон, а противном случае - меньшего числа волокон, менее переплетённых и обладающих более крупными размерами. При этом в первом случае получается смазка с большей коллоидной стабильностью, но с меньшей механической стабильностью и с меньшим пределом прочности, а во втором случае – наоборот [8].

Дисперсная фаза (загуститель) образует в пластичной смазке трёхмерный структурный каркас, в ячейках которого за счет адсорбции и капиллярных сил удерживается масло (дисперсионная среда). Загустители могут быть неорганического или органического происхождения, последние из которых, в свою очередь, подразделяются на мыльные, углеводородные, пигментные, полимерные и т. д. Смазки на мыльных загустителях, представляющих собой соли высших карбоновых (жирных) кислот - мыла, получили наибольшее распространение на практике. В зависимости от катиона мыла смазки разделяют на литиевые (Li), натриевые (Na), кальциевые (Ca), бариевые (Ba), алюминиевые (Al) и др. В зависимости от вида аниона мыла смазки разделяют на простые (обычные) и комплексные (k), при этом простые смазки содержат анион высокомолекулярной кислоты, а комплексные – сложный

анион высокомолекулярной жирной кислоты и низкомолекулярной органической (или неорганической) кислоты. Среди комплексных смазок наиболее распространены кальциевые (kCa) и литиевые (kLi). Существуют также смазки на смешанных мылах, в которых в качестве загустителя используют смесь мыл (литиево-кальциевые (Li/Ca), натриево-кальциевые (Na/Ca) и др.). Мыла, являясь поверхностно-активными веществами, выполняют роль как загустителя, так и противоизносного и противозадирного компонента [6-8,11].

Традиционно технология получения мыльных пластичных смазок содержит операцию синтеза ДФ, включающую проведение реакции нейтрализации расплавленных жирных кислот водными растворами щелочей с последующим выпариванием воды и термомеханической обработкой реакционной массы при температуре выше $100~^{\circ}C$. В связи с тем, что присутствие воды и повышенные температуры негативно влияют на растительные масла [4, 16, 17], в технологиях получения ПСМ на основе растительных масел следует избегать применения водных растворов и длительного воздействия высоких температур на растительный компонент дисперсионной среды. Авторами работы предложен способ получения пластичной литий-кальциевой смазки [18] со смешанной дисперсионной средой, практически исключающий негативное влияние воды и высокой температуры на растительное масло, что предопределяет повышенные реологические и трибологические свойства экологически безопасного пластичного смазочного материала (ЭБ ПСМ). На рисунке 1 представлена схема реализации этого технологического процесса, включающего операции загрузки в реактор порции минерального масла и её нагрева до температуры 85-90 °C, введения и расплавления 12-гидрооксистеариновой (12-HoSt) кислоты, её последовательной нейтрализации при поочередном введении масляных суспензий гидроокиси кальция $Ca(OH)_2$ и гидроокиси лития **LiOH**, термомеханической обработки продуктов реакции нейтрализации в минеральной дисперсионной среде с нагревом до 115-120 °C, проверки и при необходимости корректировки щёлочности состава, подъема температуры и термообработки реакционной массы при 180185 °C, введения в неё порции растительного масла, охлаждения образовавшейся массы до температуры 55–65 °C, введения функциональных присадок, охлаждения готовой смазки до комнатной температуры и её слива из реактора.

Для приготовления ЭБ ПСМ на основе смеси растительного и минерального масел использовались рапсовое масло, масло высокоочищенное ІІІ группы марки НС-4, кислота 12-гидрооксистеариновая, гидроокись кальция, моногидрат гидроокиси лития, депрессорная присадка К-110, адгезионная присадка Petrolad 484 В и многофункциональная присадка ДФ-11.

Из практики следует, что показателями, достаточно полно характеризующими свойства пластичной смазки, могут являться пенетрация и температура каплепадения, на уровень значений которых, в первую очередь, влияют количество дисперсной фазы и её состав, а из технологических режимов - температура термообработки реакционной массы, наиболее существенно сказывающаяся на характере протекания процессов структурообразования пластичной смазки. Поэтому применительно к решению задачи оптимизации состава и режимов получения ЭБ ПСМ на смешанном литийкальциевом загустителе в качестве критериев оптимизации были выбраны пенетрация $oldsymbol{ec{\Pi}}$ и температура каплепадения $oldsymbol{T}_{\kappa n}$, а параметрами оптимизации выступали три фактора: содержание смешанного литий-кальциевого загустителя в пластичной смазке $oldsymbol{C}_z$, содержание стеарата лития LioSt в смешанном загустителе C_{r} и температура термообработки реакционной массы в процессе приготовления пластичной смазки Тто. Для обеспечения биоразлагаемости пластичной смазки на уровне 80-90 % в качестве дисперсионной среды пластичной смазки использовалась смесь растительного (рапсового) и минерального (высокоочищенного III группы) масел в соотношении 80 : 20. Отработка компонентного состава ЭБ ПСМ и режима термообработки проводилась при изменении содержания стеарата лития LioSt в смешанном загустителе в пределах $C_r = 60-80 \; macc.\%$ и варьировании температуры термообработки реакционной массы в процессе приготовления пластичной смазки в диапазоне T_{ma} = 150-180 °C при содержании смешанного литий-кальциевого загустителя в

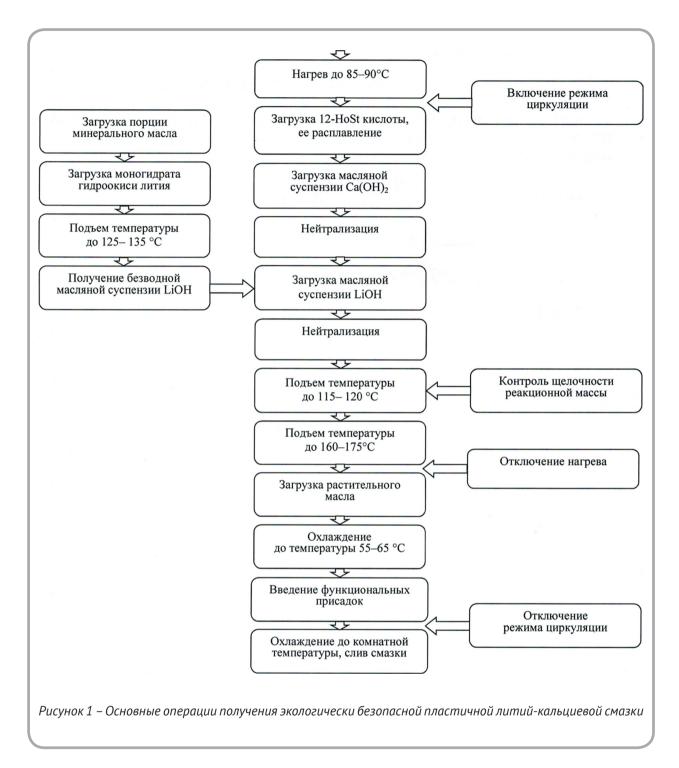
пластичной смазке $C_z = 10-14$ *масс.*%.

Оптимизация компонентного состава ЭБ ПСМ и технологических режимов его получения осуществлялась на основе экспериментально-статистической модели, построенной с использованием метода математического планирования эксперимента [19]. Анализ полученных зависимостей показал, что для получения пластичного смазочного материала на основе смеси растительного и минерального масел с реологическими характеристиками, соответствующими показателю пенетрации $\mathbf{\Pi} = (265-295) \cdot 10^{-1} \ \mathbf{mm}$, и температуре каплепадения $T_{vn} \ge 200 \, {}^{\circ}C$, содержание стеарата лития LioSt в смешанном загустителе должно составлять $C_L = 72\pm 2 \; macc.\%$, температура термообработки реакционной массы должна равняться T_{mo} = 167,5±2,5 °C при содержании смешанного загустителя в смазке $C_z = 11,0\pm0,5 \ macc.\%$.

Следует отметить, что микроструктура дисперсной фазы литий-кальциевой смазки (рисунок 2, а) несколько отличается от микроструктуры ДФ простой литиевой (рисунок 2, б) и простой кальциевой (рисунок 2, в) смазок. В её структуре (рисунок 2, а) присутствуют как относительно тонкие веретенообразные волокна 12-гидрооксистеарата лития длиной 10-25 мкм и диаметром 2-5 $m\kappa m$, способствующие, в частности, повышению температуры каплепадения, так и более толстые и крупные пластинчатые образования длиной 15-40 мкм и толщиной 5-10 мкм, образованные солями 12-гидроксистеарата кальция, обуславливающие повышенные трибологические характеристики смазки, в том числе высокую несущую способность смазочного слоя.

Приведенное в таблице 6 сопоставление реологических и трибологических свойств простой литиевой (Литол-24) и простой кальциевой (Солидол С) смазок с параметрами пластичной смазки со смешанным литий-кальциевым загустителем свидетельствует о преимуществах последней.

Использование смешанного загустителя позволяет сочетать преимущества каждого из типов мыл. Если доля кальциевого мыла в литий-кальциевых пластичных смазках не превышает 20 *масс.*%, то их температура каплепадения более чем вдвое превышает температуру каплепа-



дения простых кальциевых смазок и находится в интервале от 170 до 180 ° \pmb{C} , а защита от износа улучшена по сравнению с аналогичными параметрами для простых литиевых смазок.

Представленные в таблице 7 результаты исследования параметров качества ЭБ ПСМ с литий-кальциевым загустителем через 6 и 12 месяцев его хранения в открытой таре в сравнении

со свежеприготовленной смазкой свидетельствуют о высокой стабильности реологических свойств разработанного смазочного материала.

В ходе испытаний установлено, что изменение показателя пенетрации за 12 месяцев хранения в герметичной таре при температуре +5...+25 °C для разработанной экологически безопасной литий-кальциевой пластичной смазки составило

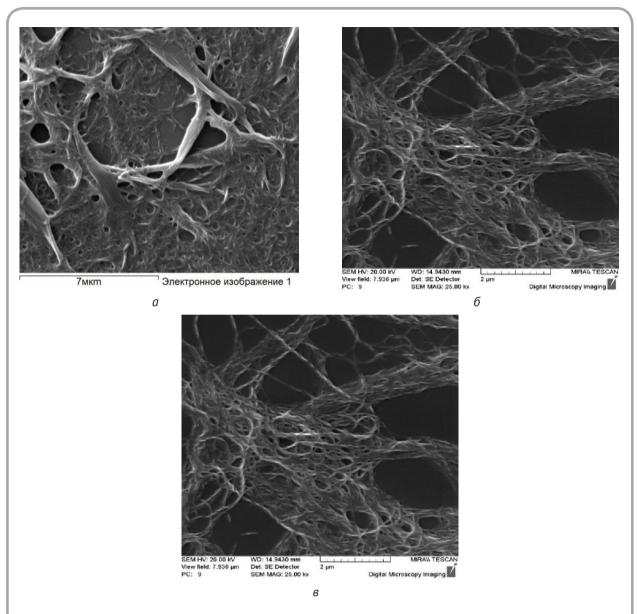


Рисунок 2 – Микроструктура дисперсной фазы литий-кальциевой (а), простой литиевой (б) и простой кальциевой (в) смазок [18]

Таблица 6 – Характеристика пластичных смазочных материалов с различной дисперсной фазой

Померения	Вид дисперсной фазы				
Показатель	${\it Ca}$ (Солидол С)	Li (Литол-24)	Li/Ca		
Температура каплепадения, ${}^{\circ}C$	75	185	180		
Пенетрация, 0,1 <i>мм</i>	300	275	280		
Коллоидная стабильность, %	9	12	8		
Противозадирные характеристики на ЧМТ, $oldsymbol{P}_c$, $oldsymbol{H}$	1568	1470	1960		
Показатель износа, м м	0,49	0,51	0,46		

Таблица 7 – Свойства ЭБ ПСМ (${m Li/Ca}$ -смазка) при различных сроках её хранения									
Смазка	Срок хранения, мес.	Пенетрация, $10^{-1} m m$	Коллоидная стабильность, %	Температура каплепадения, $^{\circ}C$	Механическая стабильность (изменение пенетрации после 10000 ударов), 10^{-1} nm	Критическая нагрузка, $oldsymbol{H}$	Нагрузка сваривания, H	Показатель износа, $m m$	Индекс задира, $oldsymbol{H}$
- × 25 CM	0	280	8	180	+60	1234	1960	0,46	578
Пластичный ЭБ СМ $(Li/Ca$ -смазка)	6	276	8	180	+65	1234	1960	0,48	535
(Li) Cu-cimaska)	12	268	7	175	+72	1234	1960	0,49	525

всего 12 ед., и её пенетрация сохранилась в допустимом диапазоне (265–295 ед.). Испытанный образец ПСМ характеризуется хорошей коллоидной стабильностью (на уровне 7–8 % при норме не более 10 %) и высокой механической стабильностью (изменения показателя пенетрации после 10000 циклов нагружения составили +60 – +72 ед.; данный показатель не нормируется). Приведенные в таблице 7 результаты испытаний на четырёхшариковой машине трения также свидетельствуют о высокой стабильности трибологических свойств этой пластичной смазки.

Биоразлагаемость экологически безопасных смазочных материалов. Степень биоразлагаемости испытуемых образцов экологически безопасных жидкого и пластичного смазочных материалов оценивалась в сравнении с биоразлагаемостью входящего в их состав чистого

рапсового масла по средней степени деструкции кислот с длиной углеродной цепи 16 и 18, преобладающих в рапсовом масле и образцах ЭБ СМ, в течение 28 суток. Результаты исследований представлены в таблице 8.

Начиная с 21 суток, для всех образцов наблюдалось снижение pH от 7,0 до 6,0–6,5 вследствие накопления продуктов окисления и уменьшение дозы активного ила от 4,1 до 1,9–2,1 $z/\partial m^3$ изза недостатка субстрата. В условиях проведённых испытаний степень деструкции рапсового масла составила 85 %, а жидкого и пластичного ЭБ СМ — соответственно 79 и 76 %. Исходя из предполагаемой степени деструкции рапсового масла на уровне 100 %, расчетная биоразлагаемость жидкого ЭБ СМ составила 93 %, а пластичного ЭБ СМ — 89 %.

Таблица 8 - Степець	Decmnykiiiii	nnenfindamilliv wiin	ных кислот и биоразлагаемос	-ти ЭБ СМ
TUUTTUUU 0 – CITTETTEHB	Decinpykuuu	преоблабающих жир	ных кислоні и ойоризлигиемос	וווע שם כוווג

	Степень деструкции жирных кислот, $\%$					Степень		
Испытуемый образец	Пальмити- новая	Пальмито- леиновая	Стеариновая	Олеиновая	Линоленовая	деструкции в условиях эксперимента,	Биоразлагаемость образца, %	
Рапсовое масло	71	92	_	83	93	85	100	
Жидкий ЭБ СМ	84	92	_	67	62	79	93	
Пластичный ЭБ СМ	20	_	91	99	95	76	89	

выводы

Показано, что для получения ЭБ СМ в качестве минерального компонента масляной композиции целесообразно использовать высокоочищенное масло ІІІ группы по стандарту АРІ, которое характеризуется как высокими реологическими и трибологическими свойствами, так и улучшенными экологическими качествами.

Описан способ получения экологически безопасной пластичной смазки со смешанной дисперсионной средой (смесь рапсового и минерального III группы по стандарту API масел), позволяющий минимизировать вредное влияние воды и высокой температуры на растительный компонент и повысить свойства смазки. Эта смазка имеет более высокие реологические (температура каплепадения – $180\,^{\circ}$ C, коллоидная стабильность – $8\,^{\circ}$ O) и трибологические (нагрузка сваривания – $1960\,^{\circ}$ H, показатель износа – $0,46\,^{\circ}$ mm), чем смазки, загущенные простым литиевым (смазка Литол-24) и простым кальциевым (смазка Солидол C) мылом.

Разработано масло для смазывания пильных цепей, изготавливаемое из отечественного сырья и по своим параметрам соответствующее маслу-аналогу марки Husqvarna Bio Advanced. Биоразлагаемость разработанных экологически безопасных жидкого и пластичного смазочных материалов составляет 93 % и 89 % соответственно, при этом разработанные ЭБ СМ характеризуются высокой стабильностью (в течение не менее 12 месяцев) реологических и трибологических свойств.

Анализ полученных результатов исследования процессов формирования структуры и

свойств пластичного смазочного материала со смешанной дисперсионной средой позволил разработать рецептуру и технологический процесс получения экологически безопасной пластичной литий-кальциевой смазки на смеси растительного и минерального масел и организовать её производство на ОДО «Спецсмазки и 000 «Евразия Лубрикантс» по техническим условиям ТУ ВУ 190410065.21-2020 «Смазка биоразлагаемая пластичная «OIMOL CL BIO». Смазка OIMOL CL BIO является экологически безопасным смазочным материалом общетехнического назначения для смазывания мало- и средненагруженных узлов трения различных машин и механизмов, эксплуатирующихся в диапазоне температур от $-30~^{\circ}C$ до $+120~^{\circ}C$ в условиях, где возможно попадание смазочного материала в окружающую среду (сельскохозяйственная, лесозаготовительная, карьерная, коммунальная техника; автомобильный, водный и железнодорожный транспорт и др.).

На основе результатов проведенных исследований разработано экологически безопасное масло для смазывания пильных цепей, промышленный выпуск которого организован на предприятии ООО «Евразия Лубрикантс» по техническим условиям ТУ ВУ 190410065.018-2019 «Масло биоразлагаемое всесезонное для цепей бензопил ЕСО СЅ ВІО». Данный смазочный материал эффективен при смазывании пильных цепей всех моделей бензопил, электропил и харвестеров в любое время года, рекомендуется для применения в диапазоне температур от $-36\ ^{\circ}C$ до $+70\ ^{\circ}C$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Евдокимов, А. Ю., Фукс, И. Г., Любинин, И. А. (2012), Смазочные материалы в техносфере и биосфере: экологический аспект, Киев, Атика-H, 292 с.
- 2. Крутько, Э.Т., Прокопчук, Н.Р., Глоба, А.И. (2014), Технология биоразлагаемых полимерных мате-

REFERENCES

1. Evdokimov, A. Yu., Fuks, I. G., Lyubinin, I. A. (2012), *Smazochnye materialy v tehnosfere i ekosfere: ekologicheskij aspect* [Lubricants in the technosphere and biosphere: ecological aspect], Kiev, Atika-N, 292 p.

риалов, Минск, БГТУ, 105 с.

- 3. Стрельцов, В. В., Стребков, С. В. (2009), Тенденции использования биологических смазочных материалов, *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ*, 2009, № 2, С. 67–71.
- 4. Dhorali, G., Venkata, P. C. (2018), *Vegetable Oil based Bio-lubricants and Transformer Fluids. Applications in Power Plants*, Singapore, Springer Nature Singapore Pte. Ltd., 152 p.
- 5. Девянин, С. Н., Марков, В. А., Семенов, В. Г. (2018), Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей, М., ФГОУ ВПО МГАУ, 340 с.
- 6. Манг, Т., Дрезель, У. (2010), *Смазки. Производство, применение, свойства*, Санкт-Петербург, Профессия, 956 с.
- 7. Рудник, Л. Р. (2013), *Присадки к смазочным материалам. Свойства и применение*, Санкт-Петербург, Профессия, 927 с.
- 8. Ищук, Ю. Л. (1996), *Состав структура и свойства пластичных смазок*, Киев, Наукова думка, 510 с.
- 9. Чекан, В. А., Маркова, Л. В., Пинчук, Т. И., Ивахник, А. В. (2005), Препарирование пластичных смазок для исследования их структурного каркаса методом сканирующей электронной микроскопии, Заводская лаборатория. Диагностика материалов, 2005, № 8, С. 36–38.
- 10. Леонтьев, В. Н., Маркевич, Р. М., Феськова, Е. В., Хильченко, Т. С., Жорник, В. И., Ивахник, А. В., Запольский, А.В. (2021), Испытание образцов смазочных материалов на биоразлагаемость, Технология органических веществ, Материалы докладов 85-й научно-технической конференции, Минск, 2021, С. 349–351.
- 11. Фукс, И. Г., Шибряев, С. Б. (1992), *Состав, свойства и производство пластичных смазок*, М., Экохим, 158 с.

- 2. Krutko, E. T., Prokopchuk, N. R., Globa, A. I. (2014), *Tehnologija biorazlagaemyh polimernyh materialov* [Technology of biodegradable polymer materials], Minsk, BSTU, 105 p.
- 3. Streltsov, V. V., Strebkov, S. V. (2009), Trends in the use of biological lubricants [Tendencii ispolzovanija biologicheskikh smazochnykh materialov], *Vestnik FGOU VPO MGAU Vestnik of FGOU VPO MGAU*, 2009, № 2, pp. 67–71.
- 4. Dhorali, G., Venkata, P. C. (2018), *Vegetable Oil based Bio-lubricants and Transformer Fluids. Applications in Power Plants*, Singapore, Springer Nature Singapore Pte. Ltd., 152 p.
- 5. Devyanin, S. N., Markov, V. A., Semenov, V. G. (2018), *Pastitelnye masla i topliva na ikh osnove dlja dizelnykh dvigatelej* [Vegetable oils and fuels based on them for diesel engines], Moscow, FGOU VPO MGAU, 340 p.
- Mang, T., Drezel, U. (2010), Smazki. Proizvodstvo, primeneie, svojstva [Lubricants. Production, application, properties], St. Petersburg, Profession, 956 p.
- 7. Rudnik L.R. (2013), *Prisadki k smazochnym materialam. Svojstva i primenenie* [Additives to lubricants. Properties and application], St. Petersburg, Profession, 927 p.
- 8. Ishchuk, Yu. L. (1996), *Sostav, struktura i svojstva plastichnyh smazok* [Composition structure and properties of greases], Kiev, Naukova dumka, 510 p.
- 9. Chekan, V. A., Markova, L. V., Pinchuk, T. I., Ivakhnik, A. V. (2005), Preparation of greases for the study of their structural framework by scanning electron microscopy [Preparipovanie plastichnyh smazok dlja issledovanija ih strukturnogo karkasa metodom skanirujuschej elektronnoj mikroskopii], Zavodskaja laboratorija. Diagnostika materialov Factory laboratory. Diagnostics of materials, 2005, № 8, pp. 36–38.

- 12. Lingg, G. (2004), Unconventional base oils for liquid and semi-solid lubricants, *14th International Colloquium Esslingen*, 2004, Vol. 1, pp. 41–4.
- 13. Zhornik, V. I., Zapolsky, A. V., Ivakhnik, A. V., Parnitsky, A. M. (2021), Development of the component composition of the biodegradable liquid lubricant for saw chain, *Механика машин, механизмов и материалов*, 2021, № 3 (56), C. 70–82.
- 14. Жорник, В. И., Ивахник, А. В., Запольский, А. В., Ивахник, В. П., Бухтилова, М. А. (2017), Комплексная сульфонат кальциевая дисперсная фаза основа инновационных смазочных материалов, *Актуальные вопросы машиноведения*, 2017, Вып. 6, С. 346–350.
- 15. Жорник, В. И., Ивахник, А. В., Ивахник, В. П., Запольский, А. В. (2018), Структура и свойства комплексной сульфонат кальциевой смазки, *Механика машин, механизмов и материалов*, 2018, № 1 (42), С. 44–50.
- 16. О'Брайен, Р. Д. (2007), Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение, Санкт-Петербург, Профессия, 751 с.
- 17. Gnanasekaran, D., Chavadi, V. P. (2018), *Vegetable Oil based Biolubricants and Transformer Fluids: Applications in Power Plants*, Singapore, Springer Nature Pte. Ltd., 155 p.
- 18. Жорник, В. И., Запольский, А. В., Ивахник, А. В. (2021), Биоразлагаемые пластичные смазки общетехнического назначения, *Актуальные вопросы машиноведения*, 2021, Вып. 10, С. 295–301.
- 19. Zhornik, V. I., Zapolsky, A. V., Ivakhnik, A. V., Parnitsky, A. M. (2021), Development of the method and optimization of the composition and modes of obtaining the biodegradable grease with the lithium-calcium thickener, *Механика машин, механизмов и материалов*, 2021, № 2 (55), C. 60–72.

- Leont'ev, V. N., Markevich, R. M., Feskov, E. V., Hilchenko, T. S., Zhornik, V. I., Ivakhnik, V. A. Zapolsky, A. V. (2021), Biodegradability test of the lubricant specimens [Ispytanija obrazcov smazochnykh materialov na biorazlagaemost], Technology of organic substances, *Proceedings* of the 85-th scientific conference, Minsk, 2021, pp. 349–351.
- 11. Fuks, I. G., Shibryaev, S. B. (1992), *Sostav, svojstva i proizvodstvo plastichnykh smazok* [Composition, properties and production of greases], Moscow, Ekokhim, 158 p.
- 12. Lingg, G. (2004), Unconventional base oils for liquid and semi-solid lubricants, *14th International Colloquium Esslingen*, 2004, Vol. 1, pp. 1–4.
- 13. Zhornik, V. I., Zapolsky, V. A., Ivakhnik, V. A., Parnitsky, A. M. (2021), Development of the component composition of the biodegradable liquid lubricant for chain saw, *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2021, № 3 (56), pp. 70–82.
- 14. Zhornik, V. I., Ivakhnik, A. V., Zapolskiy, A. V., Ivakhnik, V. P., Bukhtilova, M. A. (2017), Complex calcium sulfonate dispersed phase is the basis of innovative lubricants [Kompleksnaja sulfonat kalcievaja dispersnaja faza osnova innovacionnykh smazochnykh materialov], Aktualnye voprosy mashinivedenija Topical issues of mechanical engineering, 2017, Vol. 6, pp. 346–350.
- 15. Zhornik, V. I., Ivakhnik, A. V., Ivakhnik, V. P., Zapolsky,A.V.(2018),The structure and properties of complex calcium sulfonate grease [Struktura i svojstva kompleksnoj sul'fonat kal'cievoj smazki], Mehanika mashin, mekhanizmov i materialov Mechanics of machines, mechanisms and materials, 2018, № 1 (42), pp. 44–50.
- 16. O'Brien, R. D. (2007), *Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoistva, primenenie* [Fats and oils.

- Production, composition and properties, application], St. Petersburg, Profession, 751 p.
- 17. Gnanasekaran, D., Chavadi, V. P. (2018), *Vegetable Oil based Biolubricants and Transformer Fluids: Applications in Power Plants*, Singapore, Springer Nature Pte. Ltd., 155 p.
- 18. Zhornik, V. I., Zapolsky, A. V., Ivakhnik, A. V. (2021), Biodegradable greases of the general purpose [Biorazlagaemye smazki obschetekhnichskogo naznachenija], *Aktualnye voprosy mashinivedenija Topical issues of mechanical engineering*, 2021, Vol. 10, pp. 295–301.
- 19. Zhornik, V. I., Zapolsky, V. A., Ivakhnik, A. V., Parnitsky, A. M. (2021), Development of the method and optimization of the composition and modes of obtaining the biodegradable grease with the lithium-calcium thickener, *Mehanika mashin, mehanizmov i materialov Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2021, № 2 (55), pp. 60–72.

Статья поступила в редакцию 18. 02. 2022 г.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КРАШЕНИЯ ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫХ ТКАНЕЙ ПРИРОДНЫМИ КРАСИТЕЛЯМИ

WAYS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF DYEING COTTON FABRICS WITH NATURAL DYES

УДК 677.027.4

Н.В. Скобова*, Н.Н. Ясинская, А.О. Кузнецова

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-115-124
N. Skobova*, N. Yasinskaya, A. Kuznetsova
Vitebsk State Technological
University

РЕФЕРАТ

ПРИРОДНЫЕ КРАСИТЕЛИ, СТЕПЕНЬ ЭКСТРАГИ-РОВАНИЯ, УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА, ДИФФУ-ЗИЯ, КРАШЕНИЕ, ХЛОПЧАТОБУМАЖНЫЕ ТКАНИ, ЭКОТЕКСТИЛЬ

В статье предложены способы повышения эффективности крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями за счет увеличения степени экстрагирования красящего вещества из природного растительного сырья и облегчения диффузии красителя в структуру целлюлозного волокна. Проведены экспериментальные исследования технологии ультразвуковой обработки природного растительного сырья с целью повышения степени экстрагирования красящего вещества из рабочего раствора. Установлены зависимости оптической плотности красильных растворов от режимов ультразвуковой обработки. Показано, что фактором, влияющим на степень выхода красящего пигмента в раствор, является мощность генератора, продолжительность озвучивания слабо влияет на анализируемый параметр. Доказана эффективность предварительной ферментной подготовки хлопчатобумажных тканей с целью облегчения диффузии красящего вещества в целлюлозное волокно и повышения степени выбирания красителя из красильного раствора. Проведен сравнительный анализ окрашенных образцов тканей, полученных при мощности озвучивания природного растительного сырья 30 Вт в течение 20 мин, по показателю яркости и насыщенности цвета. Установлены оптимальные технологические режимы ультразвуковой обработки

ABSTRACT

NATURAL DYES, DEGREE OF EXTRACTION, ULTRASONIC TREATMENT, DIFFUSION, DYEING, COTTON FABRICS, ECOTEXTILE

The article suggests ways to increase the efficiency of dyeing cotton fabrics with natural dyes by increasing the degree of extraction of the coloring substance from natural plant raw materials and facilitating the diffusion of the dye into the structure of cellulose fiber. Experimental studies of the technology of ultrasonic processing of natural plant raw materials have been carried out in order to increase the degree of extraction of the coloring substance from the working solution. The dependences of the optical density of dye solutions on the modes of ultrasonic treatment are determined. It is shown that the generator power is a factor affecting the degree of output of the coloring pigment into the solution, the duration of voicing has little effect on the analyzed parameter. The effectiveness of the preliminary enzyme preparation of cotton fabrics has been proven in order to facilitate the diffusion of the coloring substance into the cellulose fiber and increase the degree of dye selection from the dye solution. A comparative analysis of colored tissue samples obtained with the sound power of natural plant raw materials of 30 W for 20 minutes, in terms of brightness and color saturation, was carried out. The optimal technological modes of ultrasonic processing of plant raw materials have been determined the generator power is no more than 60 watts, the duration of ultrasonic treatment is 20 minutes. A schematic diagram of the preparation and dyeing of cotton fabrics with natural

^{*} E-mail: skobova-nv@mail.ru (N. Skobova)

растительного сырья – мощность генератора не более 60 **Вт**, продолжительность озвучивания 20 **жин**. Предложена принципиальная схема подготовки и крашения хлопчатобумажных тканей природными растительными красителями для создания высокоэкологичной текстильной продукции – экотекстиль.

plant dyes for the creation of highly environmentally friendly textile products – ecotextile – is proposed.

ВВЕДЕНИЕ

Природные красители – это окрашенные органические соединения, получаемые посредством переработки природного сырья (растений и животных), а также микробиологическим способом (бактерии и грибы) [1]. В отличие от широко используемых синтетических красителей, природные имеют следующие преимущества: можно получать из дешёвого и доступного растительного сырья - из растений, а также из отходов пищевой, фармацевтической промышленности; не требуют при крашении сложного технологического оборудования; экологичность природных красителей, то есть способность к биоразложению, высокая совместимость с окружающей средой, более низкие токсичность и аллергические реакции; в отличие от синтетических красителей, представляющих собой однородные вещества, дающие строго определённый узкий спектр, растительные красители состоят из целого набора красящих веществ, дающих разнообразные цвета и оттенки в зависимости от вида протравы и среды крашения.

Наряду с достоинствами следует отметить и ряд недостатков природных красителей: для приготовления красильного раствора требуются большие объемы растительного сырья, ограниченная цветовая гамма. Природными красителями обычно красят текстильные изделия из натуральных волокон - натуральный шелк, лен, хлопок и шерсть. Природные красители обладают пониженным сродством к любому волокну, и, как следствие этого, получаемая окраска быстро смывается, стирается, выгорает, то есть не имеет высоких показателей в процессе эксплуатации. Чтобы упрочнить окраску традиционно используют так называемые протравы - комплексные соли металлов, что не всегда экологически безопасно [2, 3, 11].

В настоящее время спрос на экотекстиль, а именно изделия из натуральных волокон, окрашенных природными красителями, возрастает, поэтому разработка способов повышения эффективности крашения является актуальной задачей исследований.

Цель данной работы заключается в разработке способов повышения эффективности процесса крашения хлопчатобумажных тканей природными красителями. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- увеличить степень экстрагирования красящего вещества из природного растительного сырья;
- облегчить диффузию красителя в структуру целлюлозного волокна, повысить степень выбирания красителя из красильной ванны.

Основными факторами, влияющими на полноту и скорость экстрагирования являются поверхность раздела фаз «твердое растительное сырье – жидкость», которая зависит от степени измельчения сырья и будет тем больше, чем меньше частицы; продолжительность экстрагирования, учитывая, что количество вещества прямо пропорционально времени экстракции; температура, так как подогрев ускоряет процесс экстрагирования для водных извлечений.

Однако при слишком тонком измельчении традиционными способами резко увеличивается степень вымывания сопутствующих веществ из растительного сырья (белки, пектины и др.), что загрязняет вытяжку красильного раствора, а также в экстрагент переходит большое количество взвешенных частиц, красильный раствор получается мутным. Что касается продолжительности экстрагирования, необходимо стремиться к максимальной полноте извлечения в кратчайший срок, максимально использовав все прочие факторы, ведущие к интенсификации процесса.

Повышение температуры целесообразно для нетермолабильного растительного сырья. Рациональным решением задачи повышения степени экстрагирования является ультразвуковая интенсификация процесса [7, 8, 9]. Воздействие ультразвуковых волн нарушает пограничный диффузионный слой, улучшается проникновение экстрагента в материал. В результате сырьё набухает гораздо быстрее, возникают турбулентные и вихревые потоки, способствующие переносу масс, растворению веществ. Происходит интенсивное перемешивание содержимого внутри клетки, что значительно ускоряет процесс перехода действующих веществ из сырья в экстрагент [4, 5].

Традиционно для ускорения скорости диффузии красителя в волокно используют пластифицирующие добавки, либо повышают температуру красильного раствора [6]. В данной работе предлагается использовать при подготовке цел-

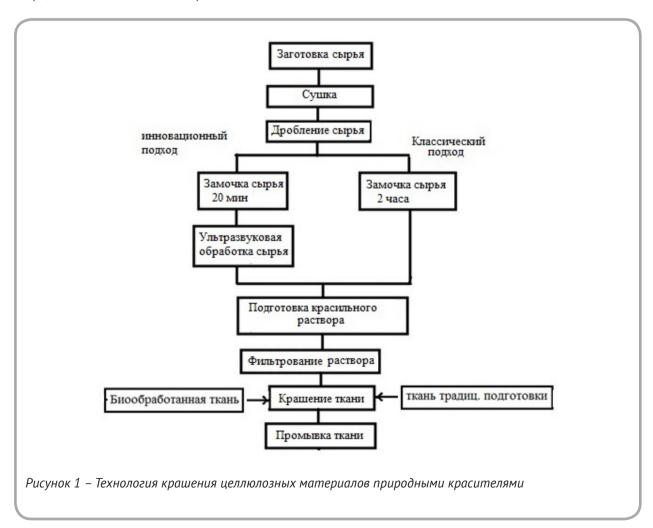
люлозных материалов к крашению обработку ферментными препаратами, которые разрыхляют структуру волокна и увеличивают доступность его активных центров для красящих веществ, повышается сорбционная способность.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования является природный краситель, полученный из растительного сырья – соцветия пижмы; хлопчатобумажная ткань поверхностной плотностью $140\ z/m^2$.

Предмет исследования – технологический процесс ультразвуковой подготовки растительного сырья и крашение хлопчатобумажной ткани природными красителями периодическим способом.

Технологическая схема процесса крашения текстильного материала природным красителем по классической и разработанной технологии представлена на рисунке 1.



Технология подготовки растительного сырья заключалась в следующем. Соцветия пижмы собирались ручным способом в сухую погоду в июле месяце. Перед сушкой сырье рассортировано, удалены почерневшие цветки. Сушка соцветий происходила естественным способом, в темном, хорошо проветриваемом помещении, периодически перемешивая, в течение первых трех суток – три раза в день, в последующие – один раз. Время сушки на воздухе – 7—10 дней. Высушенное сырье подвергали дроблению на лабораторной дробильной установке.

Подготовка сырья к экстрагированию проходила по двум технологиям: классической с замачиванием сухого сырья в течение 2 часов при комнатной температуре и ультразвуковой – способ подготовки: предварительное замачивания сухого сырья на 20 минут в воде при температуре $40\ ^{\circ}C$ с последующим озвучиванием гетерогенной системы «растительное сырье – вода» в ультразвуковой ванне.

Принципиальная схема технологических режимов экстракции водного красильного раствора и процесса крашения представлены на рисунке 2. Экстрагирование проводилось на водяной бане.

Технология подготовки хлопчатобумажной ткани для крашения проходила двумя способами: щелочная отварка (классическая) и биоотварка с использованием ферментной композиции на базе Энзитекс ЦКО (ООО «ФЕРМЕНТ» Республика Беларусь). Материал проходил биоотварку при температуре 60 °C, рH = 5, концентрация препарата 3 % от массы материала. Технологические режимы обработки материала описаны авторами статьи в работе [12].

Для определения степени экстракции красящего вещества из растительного сырья, а также степени выбирания красителя из красильной ванны использован спектрофотометрический анализ. Оптическая плотность красильных растворов определялась на спектрофотометре Solar PB220, предназначенном для измерения спектральных коэффициентов направленного пропускания, оптической плотности в прозрачных жидких растворах и определения концентрации веществ в спектральном диапазоне 190... 1100 *н.м.* при длине волны, соответствующей максимуму светопоглощения красителя [10].

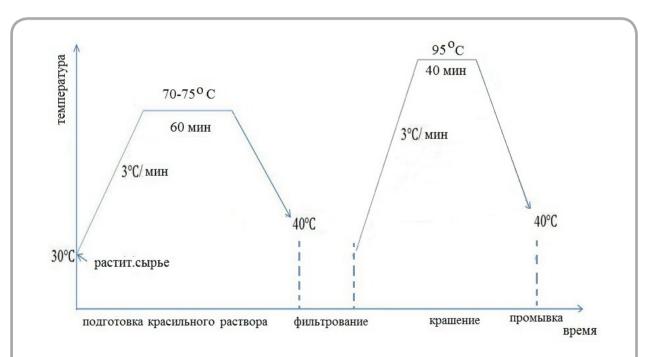


Рисунок 2 – Принципиальная схема технологического режима экстракции красильного раствора и крашения целлюлозных материалов природными красителями

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведены экспериментальные исследования по выбору оптимальных технологических режимов ультразвуковой обработки растительного сырья для повышения выхода красящего пигмента в красильный раствор.

Озвучивание соцветий пижмы проводили с использованием лабораторной ультразвуковой ванны УЗВ-1,3/2 ЗАО НПО «Техноком», имеющей следующие технические характеристики: мощность ультразвукового генератора – до 100~Bm, частота колебаний ультразвуковых пьезоэлектрических преобразователей – 35 $\kappa \Gamma u$, температура среды в ванне, регулируемая датчиком температуры, – до $100~^{\circ}C$.

В качестве входных факторов выбраны регулируемые параметры настройки ванны (таблица 1). Для оценки эффективности применения кавитационного воздействия на растительное

сырье на этапе подготовки выходными параметрами выбраны:

- оптическая плотность красильного раствора из ванны после процесса экстракции, качественно отражающая выход красящего пигмента в экстракт;
- оптическая плотность красильного раствора из ванны после процесса крашения, качественно отражающая выбираемость красителя волокном.

Проведен двухфакторный эксперимент по D-оптимальной матрице 3^2 с двумя повторностями.

На первом этапе эксперимента до процесса крашения материала из красильной ванны взяты пробы раствора, полученного при подготовке сырья по классической технологии, и пробы раствора при подготовке сырья при различных режимах озвучивания. Проведен спектрофотометрический анализ полученных растворов, результаты которого представлены на рисунке 3.

 Таблица 1 – Уровни варьирования факторов

 Уровни варьирования

 Факторы
 -1
 0
 +1

 Мощность генератора, Вт (W)
 30
 60
 90

 Время озвучивания, мин (T)
 20
 30
 40

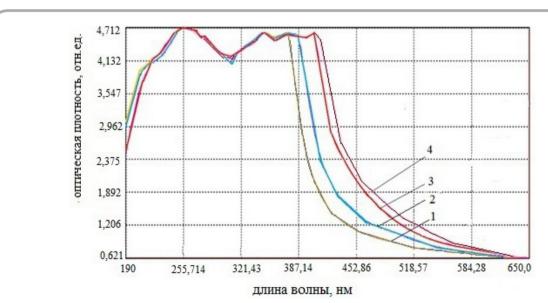


Рисунок 3 — Спектрограмма водного раствора соцветий пижмы (раствор сравнения дистиллированная вода): 1 — классическая технология; 2 — мощность генератора 30 Bm; 3 — мощность генератора 60 Bm; 4 — мощность генератора 90 Bm

На спектрограмме в качестве примера приведен результат исследований при фиксированном времени озвучивания 20 минут.

Спектрограмма имеет двухволновой спектр: область максимума поглощения для всех образцов приходится на длину волны 255 нм (коротковолновый максимум) и 350-370 нм (длинноволновый максимум). На этих длинах волн проявляются флавонолы – широко распространенная группа флавоноидов, имеющих, как правило, желтую или желто-зеленую окраску [5]. Ультразвуковая обработка сырья при мощности волны от 60 Вт и выше способствовала смещению длинноволнового максимума до уровня 406 нм, это флавоноиды группы ауроны (380-430 *нм*), халконы (340-390 *нм*), растворы приобрели более темные оттенки. Становится очевидным, что введение этапа озвучивания сырья в процессе его подготовки является эффективным.

В результате обработки экспериментальных данных с помощью прикладной программы Statistica for Windows разработаны регрессионные модели зависимости оптической плотности красильного раствора до крашения от технологических режимов озвучивания растительного сырья:

– на длине волны 255 *нм*

$$D_{255} = 4,662 - 0,024 \cdot W + 0,003 \cdot W \cdot T + 0,029 \cdot W^{2}; (1)$$

– на длине волны 405 *нм*

$$D_{405} = 4,544 - 0,046 \cdot W + 0,028 \cdot W^2 \cdot T + 0,057 \cdot W^2.$$
 (2)

Для оценки статистической значимости разработанных моделей проведен дисперсионный анализ. В таблице 2 для разработанных уравнений представлена сумма квадратов отклонений регрессии, критерий Фишера (F-value), значение которого для всех рассмотренных моделей значительно больше критического при уровне значимости p < 0,05, что указывает на достоверность разработанных моделей.

Анализ уравнений показывает, что влияющим фактором на степень выхода красящего пигмента в раствор является мощность генератора, продолжительность озвучивания слабо влияет на анализируемый параметр.

На втором этапе исследований взяты пробы красильного раствора из красильной ванны после процесса крашения тканей, подготовленных по традиционной технологии (щелочная отварка) и после биоотварки. Проведен спектрофотометрический анализ взятых проб, по результатам которого разработаны регрессионные модели зависимости оптической плотности красильного раствора после крашения от технологических режимов озвучивания растительного:

 после крашения ткани, предварительно прошедшей щелочную отварку

$$D_{mpaoual} = 4,655 - 0,026 \cdot W + 0,034 \cdot W^2 + 0,007 \cdot T^2; \quad (3)$$

– после крашения биоподготовленной ткани

$$D_{\delta uo} = 4,659 - 0,025 \cdot W + 0,008 \cdot T + 0,034 \cdot W^2 + 0,008 \cdot W^2 \cdot T. \text{ (4)}$$

Таблица 2 – Оценка значимости разработанных моделей

Эффект (Effect)	Сумма квадратов отклонений регрессий (Sum of Squares)	Критерий Фишера (F-value)	Уровень значимости (p-value)
Регрессия для модели (1)	197,2382	166324,88	0,000000
Регрессия для модели (2)	188,9562	136548	0,000000
Регрессия для модели (3)	197,3058	652850,1	0,000000
Регрессия для модели (4)	197,2775	560314,9	0,000000

Адекватность разработанных моделей подтверждается результатом дисперсионного анализа, представленным в таблице 2.

По моделям (3) и (4) построены графические образы полученных зависимостей, совместив которые, можно определить оптимальные технологические режимы ультразвуковой ванны при обработке соцветий пижмы.

Анализ совмещенного графика (рисунок 4) показывает, что красильный раствор после крашения биообработанной ткани менее насыщенный, что указывает на лучшую выбираемость красителя волокном. В качестве рациональных параметров озвучивания растительного сырья можно рекомендовать мощность генератора 30–60 *Вт*, время озвучивания существенного влияния на процесс не оказывает, поэтому исхо-

дя из экономических соображений рекомендуется 20 минут.

Проведен сравнительный анализ окрашенных образцов тканей, полученных при мощности озвучивания сырья 30~Bm в течение 20~mun, по показателю яркости и насыщенности цвета с использованием online сервиса color hex (таблица 3). Применение данного сервиса не является точным методом сравнения, однако он позволяет установить, имеются ли различия между сравниваемыми образцами тканей. По полученным данным видно, что биообработанная ткань имеет переход цвета в другие координаты цветности $\mathbf{R} = 223$, $\mathbf{G} = 210$, $\mathbf{B} = 168$ (традиционная ткань имеет координаты $\mathbf{R} = 169$, $\mathbf{G} = 183$, $\mathbf{B} = 140$), ткань приобрела более насыщенный цвет и яркость.

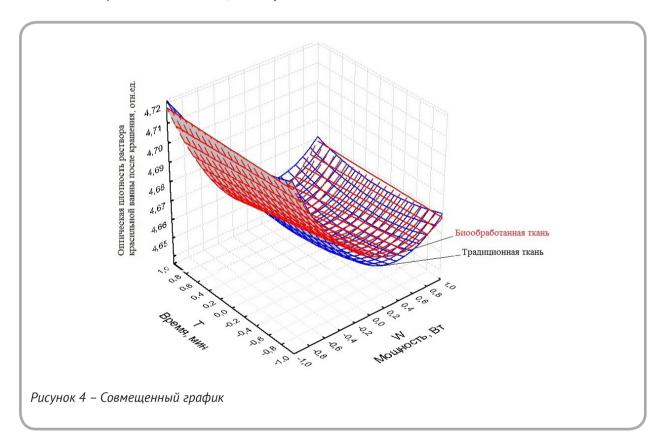


Таблица 3 – Результаты сканирования оттенка полученных образцов Биоподготовка ткани Традиционная подготовка ткани Насыщенность Насыщенность **RGB** Яркость цвета **RGB** Яркость цвета цвета цвета 169/183/140 0,32 223/210/168 0,77 0,46 0,66

выводы

- В результате проведенных исследований установлено:
- ультразвуковая обработка растительного сырья способствует повышению степени экстрагирования красящих веществ из природного растительного сырья;
- оптимальными технологическими режимами озвучивания растительного сырья являются мощность генератора не более 60 Bm, время озвучивания 20 muh;
- предварительная обработка текстильного материала ферментными препаратами биоотварка облегчает диффузию красителя в волокно и повышает степень выбирания красителя из красильной ванны;
- применение ферментной обработки текстильного материала способствует получению более насышенных оттенков на ткани.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Калинников, Ю. А., Вашурина, И. Ю. (2002), Природные красители и вспомогательные вещества в химико-текстильных технологиях реальный путь повышения экологической чистоты и эффективности производства текстильных материалов, *Российский химический журнал*, 2002, № 1, С. 77–87.
- 2. Dr. Sukalyan Sengupta, Dr. Bal Ram Singh (2006), Natural, "Green" Dyes for the Textile Industry, 2006, available at: https://www.fibre2fashion.com/industry-article/951/natural-green-dyesfor-the-textile-industry (accessed 25 March 2022).
- 3. Reazuddin Repon, M. Tauhidul Islam, Abdullah Al Mamun, Muhammad Abdur Rashid (2018), Comparative study on natural and reactive dye for cotton coloration, *Journal of applied research and technology. Versión On-line ISSN 2448-6736*, 2018, vol. 16, № 3, available at: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci arttext&pid=S1665-64232018000300160

REFERENCES

- 1. Kalinnikov, Yu. A., Vashurina, I. Yu. (2002), Natural dyes and accessory in chemical-textile technologies a real way to improve the environmental friendliness and efficiency of the production of textile materials [Prirodnye krasiteli i vspomogatel'nye veshhestva v himikotekstil'nyh tehnologijah real'nyj put' povyshenija jekologicheskoj chistoty i jeffektivnosti proizvodstva tekstil'nyh materialov], *Russian Chemical Journal*, 2002, № 1, P. 77–87.
- 2. Dr. Sukalyan Sengupta, Dr. Bal Ram Singh (2006), Natural, "Green" Dyes for the Textile Industry, 2006, available at: https://www.fibre2fashion.com/industry-article/951/natural-green-dyesfor-the-textile-industry.
- 3. Reazuddin Repon, M. Tauhidul Islam, Abdullah Al Mamun, Muhammad Abdur Rashid (2018), Comparative study on natural and reactive dye for cotton coloration, *Journal of applied research and technology. Versión On-line ISSN 2448-6736*, 2018, vol. 16, № 3, available at:

(accessed 21 March 2022).

- 4. Молчанов, Г. И. (1980), *Ультразвук в фармации*, Москва, 176 с.
- 5. Подолина, Е. А., Ханина, М. А., Рудаков, О. Б., Небольсин, А. Е. (2018), Ультразвуковая экстракция и УФ-спектрофотометрическое определение суммы флавоноидов и дубильных веществ в надземной части василька синего, *Вестник ВГУ*, 2018, № 2, С. 28–33, [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-04.pdf. Дата доступа: 31.03.2022.
- 6. Кричевский, Г. Е. (2001), *Химическая техно- логия текстильных материалов*, Т. 2, Москва, 540 с.
- 7. Хмелев, В. Н., Хмелев, С. С., Голых, Р. Н., Барсуков, Р. В. (2010), Повышение эффективности ультразвуковой кавитационной обработки вязких и дисперсных жидких сред, *Ползуновский вестник*, Барнаул, 2010, № 3, С. 321–325.
- 8. Кульнев, А. О., Жерносек, С. В., Ясинская, Н. Н., Ольшанский, В. И., Коган, А. Г. (2017), Крашение текстильных материалов из полиэфирных волокон с использованием ультразвукового воздействия, Вестник Витебского государственного технологического университета, 2017, № 1(32), С. 155–163.
- 9. Скобова, Н. В., Ясинская, Н. Н., Козодой, Т. С. (2018), Интенсификация процесса крашения шерстяных волокон, *Вестник Витебского государственного технологического университета*, 2018, № 1(34), С. 103–108.
- 10. Wei Zhang, Xin Wang, Jiali Weng, Xinwei Liu, Shaoxuan Qin, Xiaoyan Li, Jixian Gong (2021), Eco-dyeing and functional finishing of wool fabric based on Portulaca oleracea L. as colorant and Musa basjoo as natural mordant, *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, 15, 103624, available at: https://doi.org/10.1016/j. arabjc.2021.103624 (accessed 27 March 2022).

- http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-64232018000300160.
- 4. Molchanov, G. I. (1980), *Ul'trazvuk v farmacii* [Ultrasound in pharmacy], Moscow, 176 p.
- 5. Podolina, E. A., Khanina, M. A., Rudakov, O. B., Nebolsin, A. E. (2018), Ultrasonic extraction and UV spectrophotometric determination of the amount of flavonoids and tannins in the aerial part of blue cornflower [Ul'trazvukovaja jekstrakcija i UF-spektrofotometricheskoe opredelenie summy flavonoidov i dubil'nyh veshhestv v nadzemnoj chasti vasil'ka sinego], *Vestnik VSU*, 2018, № 2, P. 28–33, available at: http://www.vestnik.vsu.ru/pdf/chembio/2018/02/2018-02-04.pdf.(access: 31.03.2022).
- 6. Krichevsky, G. E. (2001), *Himicheskaja tehnologija tekstil'nyh materialov* [Chemical technology of textile materials], T. 2, Moscow, 540 p.
- 7. Khmelev, V. N., Khmelev, S. S., Golykh, R. N., Barsukov, R. V. (2010), Improving the efficiency of ultrasonic cavitation treatment of viscous and dispersed liquid media [Povyshenie jeffektivnosti ul'trazvukovoj kavitacionnoj obrabotki vjazkih i dispersnyh zhidkih sred], Polzunovskij vestnik Polzunovskiy vestnik, Barnaul, 2010, № 3, pp. 321–325.
- 8. Kulnev, A. O., Zhernosek, S. V., Yasinskaya, N. N., Olshansky, V. I., Kogan, A. G. (2017), Dyeing of textile materials from polyester fibers using ultrasonic treatment [Krashenie tekstil'nyh materialov iz polijefirnyh volokon s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo vozdejstvija], Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta Vestnik of Vitebsk State Technological University, 2017, № 1 (32), pp. 155–163.
- 9. Skobova, N. V., Yasinskaya, N. N., Kozodoy, T. S. (2018), Intensification of the process of dyeing wool fibers [Intensifikacija processa krashenija sherstjanyh volokon], *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tehnologicheskogo universiteta* –

- 11. Geetha B and V. Judia Harriet Sumathy (2013), Extraction of Natural Dyes from Plants, *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2013, Vol. 1(8), available at: https://www.researchgate.net/publication/329058662 (accessed 5 March 2022).
- 12. Ясинская, Н. Н., Скобова, Н. В. (2018), Применение ферментных препаратов для подготовки хлопчатобумажных и смесовых тканей, Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2018, Т. 40, № 2, С. 58–62.

- Vestnik of Vitebsk State Technological University, 2018, № 1(34), pp. 103–108.
- 10. Wei Zhang, Xin Wang, Jiali Weng, Xinwei Liu, Shaoxuan Qin, Xiaoyan Li, Jixian Gong (2021), Eco-dyeing and functional finishing of wool fabric based on Portulaca oleracea L. as colorant and Musa basjoo as natural mordant, *Arabian Journal of Chemistry*, 2022, 15, 103624, available at: https://doi.org/10.1016/j. arabjc.2021.103624.
- 11. Geetha B and V. Judia Harriet Sumathy (2013), Extraction of Natural Dyes from Plants, *International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences*, 2013, Vol. 1(8), available at: https://www.researchgate.net/publication/329058662 (accessed 5 March 2022).
- 12. Yasinskaya, N. N., Skobova, N. V. (2018), The use of enzyme preparations for the preparation of cotton and blended fabrics [Primenenie fermentnyh preparatov dlja podgotovki hlopchatobumazhnyh i smesovyh tkanej], Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Tehnologija legkoj promyshlennosti News of higher educational institutions. Light industry technology, 2018, Vol. 40, № 2, pp. 58–62.

Статья поступила в редакцию 05. 04. 2022 г.

ТЕХНОЛОГИЯ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВЫПОЛНЕНИЯ КРАСИЛЬНО-ЖИРОВАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЫРАБОТКЕ КОЖ ИЗ ШКУР КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

TECHNOLOGY AND EVALUATION OF THE QUALITY OF THE PERFORMANCE OF DYEING AND FAT PROCESSES IN THE PRODUCTION OF SKINS FROM CATTLE HIDES

УДК 675.026.1/.23

Р.Н. Томашева¹*, И.В. Филипович²

- ¹ Витебский государственный технологический университет
- ² Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат»

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-125-138

R. Tomasheva¹*, I. Filipovich

- ¹ Vitebsk State Technological University
- ² Unitary Production Enterprise «Vitebsk Fur Combine»

РЕФЕРАТ

КОЖЕВЕННЫЙ ПОЛУФАБРИКАТ, ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ, КРАСИЛЬНО-ЖИРОВАЛЬНЫЕ ПРО-ЦЕССЫ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ХИМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ОЦЕНКА КАЧЕСТВА, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

В статье рассмотрены вопросы отработки технологии и оценки качества выполнения красильно-жировальных процессов при изготовлении кож из шкур крупного рогатого скота. Проанализированы известные технологические схемы выполнения жидкостных операций отделки кожевенных полуфабрикатов. Выбрана и отработана в производственных условиях рациональная технология красильно-жировальных процессов при изготовлении эластичных кож для верха обуви. Произведена всесторонняя оценка качества выполнения процессов крашения по комплексу качественных и количественных показателей и исследовано влияние красильно-жировальных процессов на изменение физико-механических свойств кожевенных полуфабрикатов. Установлено, что апробируемая технология обеспечивает получение кожевенного полуфабриката краст высокого качества, с глубокой, прочной, равномерной и устойчивой к химическим и физико-механическим воздействиям окраской. Полученный в ходе технологической обработки полуфабрикат по комплексу механических свойств соответствует требованиям

ABSTRACT

SEMI-FINISHED LEATHER, PROCESSING TECHNOLOGY, DYEING AND FAT PROCESSES, TECHNOLOGICAL PARAMETERS, CHEMICAL MATERIALS, QUALITY ASSESSMENT, PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES

The article considers the issues of technology development and evaluation of the quality of the dye-fat processes in the manufacture of leathers from cattle hides. The well-known technological schemes for performing liquid finishing operations of semi-finished leather products are analyzed. A rational technology of dyeing and fat processes in the manufacture of elastic leathers for the upper of shoes has been selected and worked out in production conditions. A comprehensive assessment of the quality of the dyeing processes was carried out according to a set of qualitative and quantitative indicators and the influence of dyeing and fat processes on the change in the physical and mechanical properties of semifinished leather products was investigated. It is found out that the tested technology ensures the production of a semi-finished leather of high quality, with a deep, durable, uniform and resistant to chemical and physical-and-mechanical effects of coloring. The semi-finished product obtained during technological processing according to the complex of mechanical properties meets the requirements of regulatory and technical documentation. Recommendations have been developed to optimize the technology of dyeing

^{*} E-mail: torin.75@yandex.ru (R. Tomasheva)

нормативно-технической документации. Разработаны рекомендации по оптимизации технологии красильно-жировальных процессов отделки кожевенных полуфабрикатов. Промышленное использование отработанной технологии позволит осуществлять выпуск кожевенных материалов заданного уровня качества и повысить эффективность производства. and fat finishing processes of semi-finished leather products. The industrial use of the proven technology will allow the production of leather materials of a given quality level and increase production efficiency.

В условиях нестабильности мировой экономики, высокой конкуренции на рынке и финансово-экономических рисков, обусловленных внутренними и внешнеэкономическими факторами, диверсификация производства является одним из ключевых направлений экономического развития субъектов хозяйственной деятельности.

Проблеме диверсификации производства особое внимание уделяется на УПП «Витебский меховой комбинат». В Республике Беларусь УПП «Витебский меховой комбинат» является единственным производителем меха и меховых изделий из различных видов сырья, в том числе ценной пушнины. В последние годы на внутреннем и внешнем рынках отмечается устойчивая тенденция к падению спроса на данные виды изделий. Основными причинами являются ярко выраженный сезонный характер выпускаемой продукции, высокая стоимость и дефицит сырья, глобальные изменения климата и экотренды в fashion-индустрии. Все это в совокупности негативно отражается на результатах хозяйственной деятельности предприятия. В связи с этим освоение производства новых видов продукции и переориентация рынков сбыта является стратегически важной задачей, позволяющей повысить эффективность хозяйственной деятельности, обеспечить получение экономической выгоды и устойчивую, ритмичную работу предприятия в течение всего календарного года.

С учетом специфики основной хозяйственной деятельности предприятия и его технических возможностей ключевым направлением диверсификации производства является освоение и промышленное внедрение технологии выработки кожевенных материалов из различных видов сырья, в том числе отечественного

производства.

Кожевенное производство является сложным многостадийным процессом, состоящим из значительного числа технологических операций, предусматривающих химические, физико-химические и механические воздействия на сырье (шкуры животных) с целью получения кожи заданного уровня свойств и качества. В общей схеме кожевенного производства процессы отделки занимают наиболее важное место, так как обеспечивают наибольшую долю добавленной стоимости готовой продукции, оказывают определяющее влияние на качество и выход по площади кож, играют решающую роль в расширении и обновлении ассортимента.

Все процессы отделки условно делятся на две группы [1]:

- 1) процессы, основу которых составляют физико-химические и химические явления крашение, жирование, наполнение, сушка и увлажнение, грунтование и покрывное крашение:
- 2) процессы, базирующиеся на механических воздействиях на кожу разводка, тяжка, шлифование, тиснение, обрезка краев и пр.

Особая роль в процессах отделки кожевенных материалов отводится красильно-жировальным процессам (рисунок 1). В красильно-жировальных процессах, включающих также процессы нейтрализации, додубливания и наполнения, формируются основные физико-механические свойства кожи, имеющие первостепенное значение при выпуске продукции определенного качества и ассортимента. В этих процессах обеспечиваются такие характеристики кож, как прочность, мягкость, гибкость, эластичность, наполненность, водостойкость и другие. Отличительными особенностями красильно-жировальных жидкостных процессов являются их

длительность, использование большого количества химических материалов и воды. Поэтому их промышленное освоение, поиск новых методов обработки и совершенствование существующих технологий представляется приоритетным направлением деятельности и научных исследований предприятия.

Учитывая это, целью данной работы является отработка в производственных условиях технологии и оценка качества выполнения цикла красильно-жировальных процессов отделки кожевенных полуфабрикатов.

В рамках поставленной цели в работе решались следующие задачи:

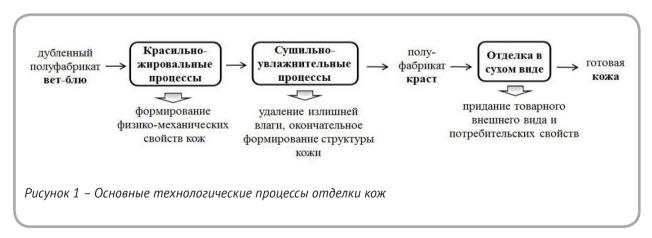
- анализ существующих технологических схем проведения красильно-жировальных процессов при выработке кожевенных полуфабрикатов из шкур крупного рогатого скота, применяемых технологических параметров и химических материалов, и выбор наиболее рациональных схем обработки, позволяющих обеспечить высокие технологические и потребительские свойства кожи и интенсификацию технологических процессов производства;
- отработка в производственных условиях технологии красильно-жировальных процессов при обработке дубленного кожевенного полуфабриката вет-блю из шкур КРС на предмет совместимости применяемых химических материалов, технологических процессов и оборудования, рациональности технологических режимов обработки и пр.;
- оценка качества выполнения красильно-жировальных процессов и исследование их влияния на физико-механические свойства обрабатываемого кожевенного полуфабриката;

– разработка рекомендаций по проведению красильно-жировальных процессов отделки кожевенных полуфабрикатов в условиях УПП «Витебский меховой комбинат» с учетом особенностей обрабатываемого сырья и технической оснащенности предприятия.

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).

В качестве объектов исследования использовались дубленные кожевенные полуфабрикаты из шкур крупного рогатого скота (вет-блю). Кожи из шкур КРС являются одним из наиболее распространенных и перспективных видов кожевенных материалов. Кожевенный полуфабрикат вырабатывался из шкур яловки легкой и бычка (страна происхождения сырья – Республика Беларусь) по традиционной технологии выработки кож хромового метода дубления с двоением в голье.

С целью выбора наиболее рациональных схем обработки, обеспечивающих высокие технологические и потребительские свойства кожи и интенсификацию технологических процессов производства, был проведен анализ существующих типовых методик и технологических схем красильно-жировальных процессов, предлагаемых ведущими производителями химических материалов для кожевенной промышленности, таких как Texapel, Colorantes Industriales (Испания), BASF (Германия), OAO «Биохим», OAO «Шебекинская индустриальная химия» (Россия) и



прочие [2-4].

Сравнительный анализ технологических схем показал, что перечень выполняемых технологических операций в цикле красильно-жировальных процессов является достаточно стабильным, однако при этом существенно различаются последовательность их выполнения и режимная технология в зависимости от вида перерабатываемого кожевенного сырья и ассортимента получаемых кож. Основными тенденциями развития технологии красильно-жировальных процессов являются интенсификация технологических процессов за счет совмещения ряда операций с целью минимизации времени обработки (сокращение времени переходов), применение полифункциональных комплексных химических препаратов, структурирование и модификация красителей и кожевенных материалов в результате химических или физических воздействий [5-11].

Анализ показал, что при относительной стабильности температурных параметров обработки в наибольшей степени подвержены изменению следующие параметры красильно-жировальных процессов:

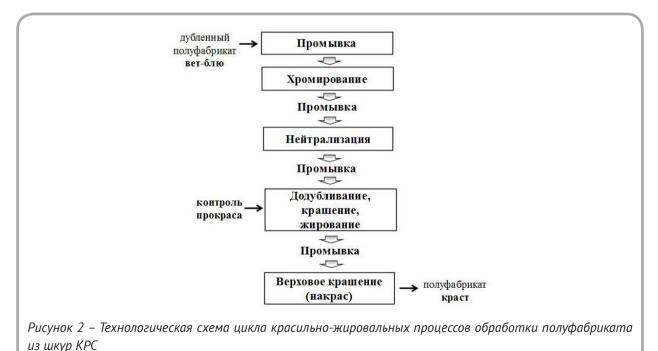
- вид применяемых химических материалов;
- последовательность введения и расход химических материалов;

- время обработки на каждом технологическом этапе;
- жидкостный коэффициент обработки и рНсреды.

Эти параметры существенно меняются в предлагаемых схемах и отрабатываются опытным путем с учетом условий и технических возможностей конкретного предприятия, а также особенностей обрабатываемых кожевенных полуфабрикатов.

На необходимость технологической отработки, проверки и испытания рекомендуемых технологических схем обращают особое внимание все ведущие производители химических материалов, так как указываемые ими значения технологических параметров обработки являются ориентировочными и не обеспечивают абсолютной гарантии получения требуемого качества продукции ввиду множества возможных воздействий при переработке и применении химических материалов.

С учетом проведенного анализа для промышленной апробации в качестве базовой была принята технология красильно-жировальных процессов обработки эластичных кож для верха обуви арт. Наппа из шкур КРС, рекомендуемая фирмой Texapel (Испания), схема которой представлена на рисунке 2. Технологическая схема



ВЕСТНИК ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА, 2022, № 1 (42)

жидкостной отделки осуществлялась в одном производственном цикле путем последовательного выполнения и совмещения нескольких технологических операций обработки. По данной технологической схеме операции крашения, додубливания и жирования совмещались и проводились в одной ванне. Обработка осуществлялась с применением химических материалов ф. Техареl (Испания) и ОАО «Биохим» (РФ).

Технологические параметры выполнения каждой технологической операции представлены в таблице 1.

Красильно-жировальные процессы выполнялись в подвесных барабанах «Баллери» АВ/130 (Италия) при механическом воздействии (вращении).

Обработка полуфабриката осуществлялась в водной среде при жидкостном коэффициенте, колеблющемся в пределах $\mathcal{H}_{v} = 1,0-2$ в зависимости от выполняемой операции. На каждой стадии технологического цикла контролировались температура обработки и уровень pH среды. Необходимые химические материалы добавлялись в барабан последовательно в несколько приёмов с интервалами времени, указанными в таблице 1. Расчет расхода воды и используемых химических материалов осуществляется в % от веса обрабатываемого сырья в соответствии с нормами, установленными в таблице 1. Общая продолжительность красильно-жировальных процессов без учета технологической операции «верховое крашение» составила $10.6 \, \mathbf{u}$.

Через 30 минут после добавления в рабочий раствор красителя выполнялся промежуточный

контроль качества процесса крашения, по итогам которого принималось решение о целесообразности выполнения заключительной технологической операции «верховое крашение». Для этого барабан останавливали, выборочно доставали единицу полуфабриката и определяли глубину его прокрашивания визуально на косом разрезе.

После выполнения цикла красильно-жировальных процессов полученный полуфабрикат подвергался физико-механической обработке для удаления излишней влаги, придания необходимых физико-механических свойств и увеличения выхода полуфабриката по площади. В отличие от типовой технологии, предлагаемой фирмой Техареl, сушильные и механические операции проводились с учетом производственных условий и технической оснащенности сырейно-красильного цеха УПП «Витебский меховой комбинат» в соответствии со схемой, представленной на рисунке 3.

Технологическая операция «Разбивка 1» выполнялась с целью разглаживания складок и морщин на лицевой поверхности кожи, равномерной растяжки и увеличения выхода кожи по площади. Технологическая операция «Разбивка 2» – для повышения мягкости и пластичности кожевой ткани после операции сушки, обеспечения равномерной растяжки и увеличения площади полуфабриката.

Операции разбивки осуществлялись на платировочной машине PL-1600 (Турция). Разбивка обеспечивалась в результате прохождения полуфабриката между ножевым и обрезиненным



Рисунок 3 – Технологическая схема механической обработки кожевенного полуфабриката из шкур КРС

Таблица 1 – Технологические параметры красильно-жировальных процессов при обработке кожевенных полуфабрикатов из шкур KPC

Наименование технологической операции	Расход химических материалов, %	Темпе- ратура	Химические материалы	Время обработки, <i>мин</i>	Примечание
	200	40	Вода		
	0,5		Deslon NAT	20	
Промывка	0,8		Бетанил черный АБ	15	
Промывка	0,5		Муравьиная кислота	20	PH 3,7
			Слить и промыть		
	150	40	Вода		
	0,2		Муравьиная кислота	15	PH 3,3
	1,5		Retalin PF	15	
V	1		Retalin TN/2	15	
Хромирование	2		Repolan ACN	45	
	4		Retalin HN/2		
	3		Edolan BSD-G	60	PH 4,2
	3		Формиат натрия	20	
			Слить и промыть		
	150	35	Вода		
	2		Формиат натрия		
	1		Retalin SN/2	20	
Нейтрализация	1		Odinoil FF	10	
	1,2		Бикарбонат натрия	45	PH 5,3
	2		Repolan AR	45	
			Слить и промыть		
	80	35	Вода		
	0,15		Кальцинированная сода	10	PH 5,9
	3		Repolan AR		
	3		Repolan 2A	40	
Додубливание-	0,5		Odinoil FF	10	
крашение-	3		Retalin OS/2		
жирование	3		Retalin DLE/2		
	0,5		Odinoil FF	10	
	3		Retalin OS/2		
	3		Retalin DLE/2		
	2		Retalin D/2		
	2		Retalin R7N	30	

Окончание таблицы 1 – Технологические параметры красильно-жировальных процессов при обработке
кожевенных полуфабрикатов из шкур КРС

Наименование технологической операции	Расход химических материалов, %	Темпе- ратура	Химические материалы	Время обработки, <i>мин</i>	Примечание
	1		Retalin TN/2		
	2,5		Бетанил черный АБ	30	контроль
	100	60	Вода		
	0,4		Муравьиная кислота	10	PH 4,3
	1		Repolan FD/2	15	
Додубливание-	4		Odinoil M66		
крашение-	3		Odinoil BFZ		
жирование	3		Odinoil LC	60	
	2		Repolan AR	30	
	0,5		Муравьиная кислота	15	PH 3,5
	1		Муравьиная кислота	30	PH 3,5
			Слить и промыть		
	200	60	Вода		
	0,6		Бетанил черный АБ	10	
Верховое	0,6		Муравьиная кислота	10	
крашение	0,3		Bastamol PF	15	
(накрас)	0,6		Бетанил черный АБ	10	
	0,5		Муравьиная кислота	10	PH 3,3
			Слить. Промыть		

валами, установленными на оборудовании. Кожу разбивали по всей площади в продольном и поперечном направлениях в несколько приёмов (не менее четырех). В результате выполнения операции отмечалось улучшение внешнего вида кожи, и увеличивался выход кожи по площади на 1,5–2,0 %.

Технологическая операция «Сушка» обеспечивает удаление из кожи избыточной влаги, поглощенной в ходе операций жидкостной отделки. Применялся конвективный способ сушки полуфабриката в потоке нагретого воздуха. Операция выполнялась в сушильном туннеле DEMAKSAN (Турция). Полуфабрикат в сушиле закреплялся на металлических перфорированных пластинах специальными зажимами в растянутом состоянии во избежание его усадки при сушке. Технологические параметры выполнения операции составляли: температура воздуха в сушильном туннеле $T=50~^{o}C$; скорость движения воздуха – $\nu=1-2~m/c$; время сушки – $\tau=2~\upsilon$. После выполнения операции осуществлялся контроль влажности полуфабриката, которая должна составлять 18-20~%.

В результате технологической обработки была получена опытная партия кожевенного полуфабриката краст, который может использоваться непосредственно для изготовления изделий из кожи, либо подвергаться дальнейшим операциям отделки лицевой поверхности с це-

лью придания необходимого товарного вида готовой коже.

Для оценки результативности аппробируемой технологии была проведена оценка качества выполнения красильно-жировальных процессов, исследованы изменения физико-механических свойств полуфабриката в результате обработки и проведен анализ соответствия свойств полученного полуфабриката установленным требованиям и нормам.

В соответствии с действующей практикой мониторинг качества выполнения процессов крашения на УПП «Витебский меховой комбинат» осуществляется на промежуточной стадии выполнения красильно-жировальных процессов путем получения поперечного среза обработанного полуфабриката и его визуального осмотра, что в значительной степени является субъективным способом оценки. Учитывая это, было предложено осуществлять оценку качества выполнения операции крашения по комплексу качественных и количественных показателей, обеспечивающих более объективную и всестороннюю оценку качества выполняемых процессов крашения.

Качественная оценка выполнения красильно-жировальных процессов заключалась в определении равномерности получаемого цвета по площади и толщине, соответствии его цвету эталонного образца, органолептической оценке плотности, наполненности и мягкости получаемого полуфабриката, отсутствию дефектов лицевой поверхности полуфабриката.

Визуальная оценка качества полученного полуфабриката по завершению красильно-жировальных процессов показала, что в результате технологической обработки был достигнут глубокий и равномерный прокрас полуфабриката по всей площади и толщине. Полученный полуфабрикат характеризовался приятной органолептикой, хорошей наполненностью и плотностью по всем топографическим участкам, достаточными мягкостью и упругостью, лицевая поверхность имела приятный гриф, отсутствовала стяжка поверхности, отмин и прочие дефекты. Полученный цвет был насыщенным и соответствовал заявленному образцу-эталону.

Количественная оценка качества выполнения красильно-жировальных процессов осуществля-

лась по показателям:

- глубины прокрашивания полуфабриката (в соответствии с ГОСТ 13310–78. Красители органические. Методы испытаний красителей для натуральной кожи);
- устойчивости окраски кожи к сухому и мокрому трению (в соответствии с ГОСТ 32076– 2013. Метод определения устойчивости окраски кож к сухому и мокрому трению);
- устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям: следам от капель воды (по ГОСТ Р ИСО 15700–2018. Кожа. Испытание на устойчивость окраски. Устойчивость окраски к следам от капель воды), к действию растворителей (по ГОСТ 13310–78).

Результаты испытаний представлены в таблице 2.

Глубина прокраса полуфабриката определялась на основе электронной микроскопии поперечных срезов из различных топографических участков кожевенного полуфабриката с помощью стереоскопического микроскопа ВS-3040Т. Анализ микросрезов окрашенного полуфабриката, представленных на рисунке 4, показал, что в ходе выполнения красильно-жировальных процессов был достигнут однородный сквозной прокрас полуфабриката по всей толщине во всех топографических участках. Глубина прокрашивания полуфабриката превышала 50 % толщины, что соответствует глубокому прокрашиванию.

Анализ данных, представленных в таблице 2, показал, что в ходе выполнения красильно-жировальных процессов была достигнута прочная и устойчивая в сухому и мокрому трению окраска полуфабриката. В ходе испытаний отмечалось незначительное окрашивание смежной ткани как при сухом (5 баллов по шкале серых эталонов), так и при мокром (4 балла) трении полученного полуфабриката, что свидетельствует о прочном закреплении красителя в структуре кожевой ткани и высоком качестве выполнения красильно-жировальных процессов. Качество окраски полуфабриката соответствует нормам, установленным ГОСТ 939-94 «Кожа для верха обуви. Технические условия» (4 балла – к сухому трению, 3 балла - к мокрому трению).

Лицевая поверхность полученного полуфабриката после выполнения красильно-жиро-

Таблица 2 – Количественная оценка качества выполнения процессов крашения кожевенных полуфабрикатов

Наименование показателя	Единицы измерения	Критерии оценки показателя	Оценка показа- теля для полу- фабриката
1. Глубина прокрашивания	% от толщины	более 50 % толщины – глубокое прокрашивание; не менее 30 % толщины – среднее прокрашивание; менее 30 % толщины – поверхностное прокрашивание	Глубокое прокрашивание
2. Устойчивость окраски кожи к трению: – сухому; – мокрому	балл	от 1 до 5 баллов по шкале серых эталонов: 1– низшая степень устойчивости окраски; 5– высшая степень устойчивости окраски	5 4
3. Устойчивость окраски к действию растворителей (бензин, этиловый спирт)	баллы	5 – растворитель не окрашен;4 – незначительно окрашен;3 – несколько окрашен;2 – сильно окрашен;1 – очень сильно окрашен	4
4. Устойчивость окраски к действию капель воды	-	степень изменения лицевой поверхности полуфабриката после нанесения капель воды и их высыхания	физические изменения лице- вой поверхности отсутствуют

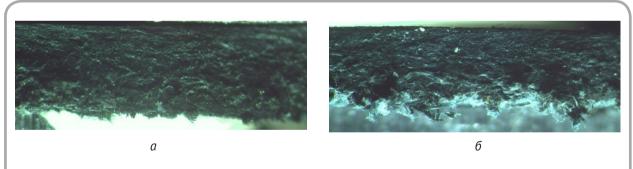


Рисунок 4 – Изображение микросрезов полуфабриката краст из шкур КРС, полученных: а – из чепрачной части кожи, б – из припольных участков

вальных процессов была достаточно плотная, не происходило быстрого впитывания нанесенных капель воды в толщу материала, то есть отмечается ограниченное смачивание материала водой. Визуальный осмотр поверхности полуфабриката после принудительного удаления через 30 минут капель воды с поверхности полуфабриката и

после удаления влаги с поверхности путем естественного испарения не выявил существенных физических изменений лицевой поверхности (коробления, потери блеска, образования пятен, подтеков, изменения окраски и пр.). Это свидетельствует о достаточной устойчивости окраски полуфабриката к действию капель воды и вы-

соком качестве выполнения красильно-жировальных процессов. Полученный полуфабрикат также характеризуется высокой степенью устойчивости к действию различных растворителей. Отмечается лишь незначительное окрашивание растворителя по результатам проведенных испытаний.

Таким образом, в целом реализуемая технология проведения красильно-жировальных процессов позволяет получить полуфабрикат высокого качества с глубокой, прочной и равномерной окраской по всей площади и толщине кожи, устойчивой к действию растворителей и капель воды, к сухому и мокрому трению. На основе полученных данных установлено, что при обработке полуфабрикатов отсутствует необходимость выполнения технологической операции «верховое крашение (накрас)». Это позволяет существенно сократить материальные и трудовые затраты на выработку полуфабриката, уменьшить длительность производственного цикла и снизить трудоёмкость обработки полуфабриката (таблица 3).

Для оценки влияния отрабатываемой технологии красильно-жировальных процессов на физико-механические свойства получаемого кожевенного полуфабриката определялись показатели плотности и пористости полуфабриката

до и после технологической обработки, а также показатели механических свойств полуфабриката при одноосном растяжении и статическом изгибе по стандартным методикам испытаний (по ГОСТ 938.20-71 «Кожа. Метод определения кажущейся плотности», ГОСТ 938.11-69 «Кожа. Метод испытания на растяжение», ГОСТ 8977-74 «Кожа искусственная и пленочные материалы. Методы определения гибкости, жесткости и упругости»).

График зависимости «усилие – удлинение» полуфабриката до и после выполнения красильно-жировальных процессов представлен на рисунке 5.

Результаты испытаний представлены в таблице 4. Анализ полученных экспериментальных данных показал, что проведение красильно-жировальных процессов по применяемой технологии существенно изменяет физикомеханические свойства исходного дубленного полуфабриката вет-блю.

В результате выполнения операций додубливания, наполнения и жирования повышается плотность полуфабриката (в среднем на 10 %) и выравнивается толщина по различным топографическим участкам. Однако при этом отмечается незначительное снижение его пористости (в 1,3 раза), что обусловлено введением в структуру

Таблица 3 – Технико-экономические показатели обработки кожевенного полуфабриката в цикле красильно-жировальных процессов

Наименование технико-	Единицы	Значение показателей для полуфабриката, выработанного по технологии красильно- жировальных процессов			
экономического показателя	измерения	без выполнения операции верховое крашение	с выполнением операции верховое крашение		
1. Стоимость химических материалов на обработку 1 шкуры (в ценах на 17.01.2021г.)	руб.	12,36	13,29		
 2. Полная себестоимость: 1 шкуры; 1 м² полуфабриката 	руб.	43,96 23,5	45,85 24,5		
3. Продолжительность производственного цикла	ч	10,6	11,5		
4. Трудоемкость обработки 1 шкуры	чел./ч	0,468	0,477		

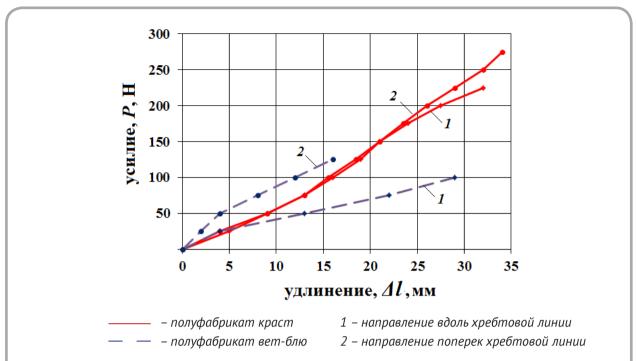


Рисунок 5 – График зависимости «усилие – удлинение» проб полуфабриката до и после выполнения красильно-жировальных процессов

материала наполняющих и жирующих веществ. В целом плотность и пористость полученного полуфабриката краст находится в пределах, характерных для обувных кож для верха обуви (плотность от 0,25 до 1,24 ϵ/cm^2 , пористость – 22–60 %).

До проведения красильно-жировальных процессов полуфабрикат вет-блю обладал неудовлетворительной прочностью (менее 10 МПа), высокой анизотропией механических свойств по направлениям раскроя вдоль и поперек хребтовой линии, жесткостью и сухостью. выполнения красильно-жировальных процессов и механических операций разбивки прочность полуфабриката увеличивается в среднем в 2 раза, существенно выравниваются свойства полуфабриката по площади (коэффициент равномерности возрастает до 0,95 и выше). Красильно-жировальные процессы обеспечивают существенное повышение мягкости и эластичности кожевенного полуфабриката. Жесткость при изгибе после обработки снижается в среднем в 3 раза, упругость – на 10-20 %. Полуфабрикат становится более гибким, мягким и пластичным.

Используемая в работе технология красильно-жировальных процессов позволяет получить кожевенный полуфабрикат, удовлетворяющий по большинству критериев требованиям нормативных документов. Большинство показателей механических свойств полуфабриката находятся в допустимых пределах для эластичных кож для верха обуви. Отмечается лишь незначительное превышение норм по показателю жесткость при изгибе методом кольца, что может быть связано с недостаточной разбивкой полуфабриката (осуществлялась только на платировочной машине). В связи с чем рекомендуется осуществлять дополнительную разбивку полуфабриката в барабанах по традиционной для кожевенных материалов технологии.

Таким образом, с учетом полученных в работе результатов можно рекомендовать апробируемую технологию красильно-жировальных процессов к промышленному внедрению. Рекомендуется при обработке полуфабриката из шкур КРС не применять операцию верховое крашение и осуществлять дополнительную разбивку полученного полуфабриката в барабане.

Таблица 4 – Физико-механические свойства кожевенного полуфабриката до и после проведения красильножировальных процессов

	Знач	Значение показателя для полуфабриката					
Н аумамаранна т ауааа т ага		х процессов)	Краст (посл жировальнь	Нормы показа-			
Наименование показателя	Вдоль хребтовой линии	Поперек хребтовой линии	Вдоль хребтовой линии	Поперек хребтовой линии	телей*		
1. Плотность, $\pmb{arepsilon}/\pmb{c}\pmb{\mathit{M}}^3$	0,	69	0,	76	-		
2. Пористость, %	33	3,3	25,0		-		
3. Предел прочности при растяжении, МПа	7,5	9,6	20	19	13, не менее		
4. Удлинение при разрыве, %	58	32	68	68	-		
5. Удлинение при напряжении 10 <i>МПа</i> , %	разрыв	разрыв	40	42	30-40		
6. Остаточное удлинение при напряжении 10 $\pmb{M}\pmb{\Pi}\pmb{a},\%$	разрыв	разрыв	8	14	-		
7. Жесткость при растяжении 10 МПа , Н	разрыв	разрыв	280,3	220,0	-		
8. Коэффициент равномерности: – по пределу прочности; – по удлинению при разрыве		57 55	0,95 1,0		-		
9. Жесткость при изгибе методом кольца, $m{H}$	1,25	1,18	0,48	0,35	0,3, не более		
10. Упругость при изгибе, %	85	95	77	75	50, не менее		

Примечание: *Нормы показателей установлены в соответствии с техническими условиями на эластичные кожи ТУ 17-06-113-85.

Промышленное использование технологии выработки обувного полуфабриката краст из шкур КРС позволит существенно повысить эффективность производства, обеспечить более полную загрузку неиспользуемых производственных мощностей предприятия, 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. Шебекинская индустриальная химия [Электронный ресурс] Режим доступа: http://shebkoqhim.ru, дата доступа: 07.04.2022.
- 3. Техис: технологии и химикаты [Электронный ресурс] Режим доступа: http://tehis-ltd.ru/texapel.html, дата доступа: 07.04.2022.
- 4. Бетахим: химические материалы для выделки и крашения меха [Электронный ресурс] Режим доступа: https://betachem.ru/catalog/, дата доступа: 07.04.2022.
- 5. Баяндин, В. В., Кленовская, Н. В., Живова, З. К., Галушкина, Т. А., Чепыгова, О. И., Кленовский, Д. В., Тарунина, М. А. (2003), Интенсификация красильно-жировальных процессов совмещенным методом. Сообщение 1, Кожевеннообувная промышленность, 2003, № 4, С. 25–26.
- 6. Баяндин, В. В., Кленовская, Н. В., Живова, З. К., Галушкина, Т. А., Чепыгова, О. И. (2003), Интенсификация красильно-жировальных процессов совмещенным методом. Сообщение 2, Кожевенно-обувная промышленность, 2003, № 5, С. 25–26.
- 7. Богданова, И. Е. (2009), Современные направления интенсификации технологических процессов кожевенного и мехового производства, Кожа и мех в XXI веке. Технология, качество, экология, образование, Материалы V международной научно-практической конференции, Улан-Удэ, 2009, С. 51–57.
- 8. Хамматова, В. В., Абдуллин, И. Ш., Разумеев, К. Э. (2015), Технология наноструктурирования кожевенных материалов для повышения устойчивости их окраски и стойкости к истиранию, Кожевенно-обувная промышленность, 2015,

RFFFRFNCFS

- 1. Ostrovskaya, A. V., Lutfullina, G. G., Abdullin, I. S. (2020), *Himiya i tekhnologiya kozhi i mekha: teoreticheskie osnov*y [Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations], Moscow, 2020, 162 p.
- 2. Shebekinskaya industrial'naya himiya [Shebekinskaya industrial chemistry], available at: http://shebkoqhim.ru (accesed 07.04.2022).
- 3. Tekhis: tekhnologii i himikaty [Techis: technologies and chemicals], available at: http://tehisltd.ru/texapel.html (accesed 07.04.2022).
- 4. Betahim: himicheskie materialy dlya vydelki i krasheniya mekha [Betachim: chemical materials for dressing and dyeing fur], available at: https://betachem.ru/catalog/ (accesed 07.04.2022).
- 5. Bayandin, V. V., Klenovskaya, N. V., Zhivova, Z. K., Galushkina, T. A., Chepygova, O. I., Klenovsky, D. V., Tarunina, M. A. (2003), Intensification of dye-fat processes by the combined method. Message 1 [Intensifikaciya krasil'no-zhiroval'nyh processov sovmeshchennym metodom. Soobshchenie 1], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost Leather and shoe industry*, 2003, № 4, pp. 25–26.
- 6. Bayandin, V. V., Klenovskaya, N. V., Zhivova, Z. K., Galushkina, T. A., Chepygova, O. I. (2003), Intensification of dye-fat processes by the combined method. Message 2 [Intensifikaciya krasil'nozhiroval'nyh processov sovmeshchennym metodom. Soobshchenie 2], Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost Leather and shoe industry, 2003, № 5, pp. 25–26.
- 7. Bogdanova, I. E. (2009), Modern trends in the inten-sification of technological processes of leather and fur production, Leather and fur in the XXI century. Technology, quality, ecology, education [Sovremennye napravleniya intensifikacii tekhnologicheskih processov

Nº 2, C. 8-12.

- 9. Гайнутдинов, Р. Ф., Шарифуллин, Ф. С., Абдуллин, И. Ш., Разумеев, К. Э. (2015), Получение модифицированных красителей путем обработки неравновесной низкотемпературной плазмы, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2015, № 1, С. 21–24.
- 10. Гайнутдинов, Р. Ф., Шарифуллин, Ф. С., Абдуллин, И. Ш., Разумеев, К. Э. (2015), Технология крашения меховой овчины плазмомодифицированнными красителями, *Кожевенно-обувная промышленность*, 2015, № 1, С.14–16.
- 11. Баллыев, С. Б., Шарифуллин, Ф. С. (2019), Перспективные методы обработки в производстве мехового полуфабриката, *Известия высших учебных заведений*. *Технология легкой промышленности*, 2019, № 3, С. 54–59.

- kozhevennogo i mekhovogo proizvodstva, Kozha i mekh v HHI veke. Tekhnologiya, kachestvo, ekologiya, obrazovanie], *Materials of the V International Scientific and Practical Conference*, Ulan-Ude, 2009, pp. 51–57.
- 8. Khammatova, V. V., Abdullin, I. Sh., Yazdev, K. E. (2015), Technology of nanostructuring of leather materials to increase their color stability and abrasion resistance [Tekhnologiya nanostrukturirovaniya kozhevennyh materialov dlya povysheniya ustojchivosti ih okraski i stojkosti k istiraniyu], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost − Leather and shoe industry*, 2015, № 2, pp. 8–12.
- 9. Gainutdinov, R. F., Sharifullin, F. S., Abdullin, I. Sh., Razumaev, K. E. (2015), Obtaining modified dyes by processing nonequilibrium low-temperature plasma [Poluchenie modificirovannyh krasitelej putem obrabotki neravnovesnoj nizkotemperaturnoj plazmy], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost Leather and shoe industry*, 2015, № 1, pp. 21–24.
- 10. Gainutdinov, R. F., Sharifullin, F.S., Abdullin, I. Sh., Razumaev, K. E. (2015), Technology of dyeing fur sheepskin with plasmodified dyes [Tekhnologiya krasheniya mekhovoj ovchiny plazmomodificirovannnymi krasitelyami], *Kozhevenno-obuvnaya promyshlennost − Leather and shoe industry*, 2015, № 1, pp. 14–16.
- 11. Ballyev, S. B., Sharifullin, F. S. (2019), Promising processing methods in the production of fur semi-finished products [Perspektivnye metody obrabotki v proizvodstve mekhovogo polufabrikata], *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya legkoj promyshlennosti News of higher educational institutions. Light industry technology*, 2019, № 3, pp. 54–59.

Статья поступила в редакцию 07. 04. 2022 г.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНОЙ МОБИЛЬНОСТИ РАБОЧЕЙ СИЛЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЫНКА ТРУДА

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF TERRITORIAL LABOR MOBILITY ON THE EFFICIENCY OF THE LABOR MARKET

УДК 331.5

Е.В. Гуторова*

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-139-154

A. Gutorova*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

РАБОЧАЯ СИЛА, ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЫНКА ТРУДА, ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ МОБИЛЬНОСТЬ, МИГРАЦИОННЫЙ ПРИРОСТ, МЕЖДУНАРОД-НАЯ МИГРАЦИЯ

В статье проведено обобщение результатов зарубежного опыта исследований влияния территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда, на основании которого выдвинута гипотеза о наличии такого влияния в Республике Беларусь. Цель работы – проверка этой гипотезы с последующим выявлением основных направлений воздействия.

Результаты, полученные с применением общенаучных, экономических и статистических методов исследования, подтверждают предположение о существовании зависимости эффективности рынка труда от территориальных перемещений рабочей силы. Определены ключевые векторы влияния миграционных процессов на один из важнейших показателей эффективности рынка труда – занятость населения. Выявлены существенные различия между теснотой и характером связи международной миграции и численности занятого населения в разрезе основных видов экономической деятельности, форм собственности, типов местности, областей Республики Беларусь.

Практическая значимость проведенного анализа состоит в возможности использования его результатов в процессе управления миграцион-

ABSTRACT

LABOR FORCE, LABOR MARKET EFFICIENCY, TERRITORIAL MOBILITY, MIGRATION GROWTH, INTERNATIONAL MIGRATION

The article presents an assessment of the impact of territorial labor mobility on the efficiency of the labor market of the Republic of Belarus. The hypothesis of the existence of such an influence arose on the basis of generalization of the results of foreign studies on this issue. The data of the National Statistical Committee of the Republic of Belarus for 2011–2019 were chosen as an empirical base.

The indicators characterizing the efficiency of the labor market are determined, which are somewhat influenced by the territorial mobility of the labor force. Among these indicators, the level of employment in Belarus is determined. It is concluded that with the intensification of migration processes, including international ones, the level of employment of the country's population tends to decrease. However, the study of the relationship between the territorial mobility of the workforce and the number of the employed (from the point of view of types of terrain, types of economic activity, forms of ownership, etc.) showed contradictory results.

The practical significance of the study is expressed by the possibility of applying its results in the process of coordinating and regulating the territorial mobility of the labor force in order to increase the efficiency of the labor market of the Republic of Belarus.

^{*} E-mail: gev2509@mail.ru (A. Gutorova)

ными потоками рабочей силы с целью повышения эффективности рынка труда страны, в том числе в рамках государственных программ содействия занятости населения.

ВВЕДЕНИЕ

Глобализация экономики вызывает необходимость изучения процессов межстранового перемещения ресурсов. Наряду с финансовыми, материальными, энергетическими, информационными, технологическими ресурсами, обеспечение стабильного развития любого государства невозможно без населения, обладающего необходимым уровнем человеческого капитала и готового к его применению. В связи с этим актуальной проблемой является изучение территориальной мобильности населения и оценки ее влияния на эффективность рынка труда. «Факторы мобильности рабочей силы действуют разнонаправленно, в отдельных случаях усугубляя имеющиеся дисбалансы, в других же - их усугубляя» [1, с. 73]. Являясь важнейшей составляющей современных мировых экономических процессов, мобильность рабочей силы определяется как «гибкость, подвижность, нестационарность, маневренность» [2]. Под трудовыми ресурсами понимается «население, занятое в экономике или способное трудиться, но не работающее по тем или иным причинам. В состав трудовых ресурсов включается трудоспособное население в трудоспособном возрасте (от 16 лет до общеустановленного пенсионного возраста), а также работающие лица старше и младше трудоспособного возраста» [3] (то есть максимально возможная часть населения, способная так или иначе принимать участие в трудовой деятельности). Рабочая сила – это «общая численность занятого населения и безработных» [3]. К категории безработных согласно рекомендациям Международной организации труда (МОТ) относят «лиц в возрасте 15-74 лет, которые в обследуемую неделю соответствовали одновременно следующим критериям: не имели работы (занятия, приносящего доход); занимались поиском работы или предпринимали шаги к организации собственного дела; были готовы приступить к работе» [3]. Поэтому можно сделать вывод о невозможности отождествления понятий «трудовые ресурсы» и «рабочая сила». Последнему присущ принцип активности, заключающийся в фактической реализации трудовой деятельности либо принятии активных мер для начала ее скорейшего осуществления (категория «рабочая сила» часто приравнивается к понятию «экономически активное население»). Трудовые ресурсы, напротив, предполагают наличие в своем составе в том числе экономически неактивное население (например, учащихся дневных форм обучения, а также лиц, которые прекратили поиск работы либо не имеют необходимость осуществлять трудовую деятельность). Поэтому, на наш взгляд, понятие мобильность (с учетом определения его сущности) может употребляться в качестве характеристики той части населения, которая принимает или стремится принимать активное участие в формировании экономических результатов деятельности государства (рабочей силы).

Таким образом, объектом исследования статьи является территориальная мобильность рабочей силы на рынке труда Республики Беларусь. Цель работы - выявление влияния территориальной мобильности рабочей силы на состояние рынка труда Республики Беларусь. В круг поставленных задач входят: систематизация результатов зарубежного опыта исследования влияния территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда; отбор показателей-идентификаторов эффективности рынка труда в Республике Беларусь; отбор показателей, характеризующих территориальную мобильность рабочей силы; изучение динамики выбранных показателей; определение ключевых направлений влияния территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда страны. В качестве методов исследования использованы общенаучные методы (обобщение, абстрагирование, аналогия и др.), методы статистического исследования динамики

социально-экономических явлений и их взаимосвязей, методы анализа и синтеза, компаративного анализа.

Территориальная мобильность рабочей силы: сущность, зарубежный опыт исследования влияния на рынок труда

Эволюционный аспект методологических подходов к определению сущности мобильности рабочей силы тесно связан с развитием основных экономических учений (таблица 1).

На современном этапе мобильность рабочей силы рассматривается сквозь призму множества различных точек зрения относительно определения этой экономической категории, систематизация которых позволила сделать следующие выводы:

1) мобильность рабочей силы правомерно

рассматривать в качестве комплексной характеристики рабочей силы, отражающей способность соответствовать спросу на рынке труда через готовность к перемещению в пространстве рабочих мест (в том числе виртуальному), к изменению функций и задач;

- 2) мобильность рабочей силы характеризуется изменением социально-правового положения (статуса) для обеспечения соответствия спросу на рынке труда и личным интересам;
- 3) мобильность рабочей силы может рассматриваться как способ поиска наилучшего варианта реализации качеств человеческого капитала;
- 4) мобильность рабочей силы может использоваться всеми участниками рынка труда (со стороны спроса на труд, со стороны предложения труда, инфраструктуры для обеспечения эффек-

(ограничивающий фактор – неоднородность и

несовпадение индивидуальных характеристик работников и рабочих мест)

Особенности понимания сущности Экономические концепции мобильности рабочей силы абсолютная мобильность рабочей силы классическая школа экономических учений (высокая степень гибкости и приспосабливаемости (А. Смит, Д. Рикардо, Ж.-Б. Сэй, Дж. С. Милль) характеристик рынка труда) дискретная мобильность рабочей силы (ограничивающий фактор – снижение гибкости кейнсианство, нео- и посткейнсианство заработной платы и численности занятых в (Дж. Кейнс, Дж. Хикс, П. Самуэльсон, Дж. Робинсон) результате вмешательства государственных органов в механизмы рынка труда) институционализм дискретная мобильность рабочей силы (Т. Веблен, У. Митчелл, Дж. Коммонс, Дж. М. Кларк), (ограничивающие институциональные факторы: неоинституционализм семейные и религиозные ценности, правовые (Р. Коуз, Р. Познер, Дж. Стиглиц, О. Уильямсон, нормы, этика и др.) Д. Норт, Дж. Бьюкенен) дискретная мобильность рабочей силы концепция человеческого капитала (ограничивающий фактор – неоднородность (Г. Беккер, Дж. Минсер) человеческого капитала) дискретная мобильность рабочей силы теория трансакционных издержек (ограничивающий фактор – издержки найма и увольнения) дискретная мобильность рабочей силы

Таблица 1 – Эволюция методологических подходов к пониманию сущности мобильности рабочей силы

Источник: [4, с. 81].

концепция поискового подхода

(П. Даймонд, Д. Мортенсен, К. Писсаридес)

тивности рынка труда).

Отсутствие единого подхода к определению сущности мобильности рабочей силы приводит к образованию множества вариантов классификаций с соответствующими этим вариантам классификационными признаками. Однако большинство авторов сходится во мнении о правомерности выделения в отдельный вид территориальной мобильности рабочей силы и возможности отождествления ее с понятием «трудовая миграция». При этом в качестве критерия для отнесения мобильности рабочей силы к территориальному виду, на наш взгляд, правомерно применять наличие факта физического перемещения, сопровождаемого пересечением административно-территориальных границ, а также сменой места постоянного или временного места жительства (пребывания) с целью осуществления трудовой деятельности на принимающей территории.

Исследования, касающиеся территориальной мобильности рабочей силы, являются довольно многочисленными, однако лишь часть из них посвящена изучению направлений влияния данного процесса на показатели, в той или иной мере характеризующие состояние рынка труда страны-реципиента.

Отдельные авторы [5, 6], занимаясь проблемой территориальной мобильности на рынке труда, исследовали влияние миграции квалифицированной рабочей силы на:

- 1) отраслевое распределение рабочей силы (А. Маунтфорд, Дж. Уодсворт) [5];
- 2) социальную мобильность работников, являющихся коренными жителями страны или региона (С. Дастманн) [6];
- 3) найм работников, являющихся коренными жителями страны или региона (А. Маунтфорд, Дж. Уодсворт) [5];
- 4) число высокооплачиваемых вакантных рабочих мест (С. Дастманн) [6].

А. Маунтфорд, Дж. Уодсворт [5] уделяют особое внимание влиянию миграции квалифицированной рабочей силы на профессиональную подготовку и переподготовку работников, являющихся коренными жителями страны или региона. Так, согласно эмпирическим оценкам, проведенным в Великобритании, авторы [5] вывили наличие обратной связи между квалифицированной им-

миграцией и обучением коренного населения, отметив снижение доли сотрудников (коренных жителей страны), прошедших определенную подготовку, переподготовку или повышение квалификации во время работы в течение 3 месяцев, предшествующих анкетированию.

Исследования влияния квалифицированной миграции на заработную плату коренных жителей, проводимые в различных странах мира, привели к противоречивым результатам. Так, Дж. Борхас [7] отмечает заметное отрицательное влияние в США, С. Дастманн [6] - незначительное отрицательное влияние в Великобритании. Д. Кард, Дж. Пери [8] выявили заметное отрицательное влияние только на уровень заработной платы работников со средним образованием в Канаде. Отдельные исследования, основанные на эмпирических данных Канады, Мексики и США, показывают, что «приток высококвалифицированной рабочей силы за счет иммиграции на 10 % снижает заработную плату коренных жителей того же уровня квалификации на 3 %» [9].

Необходимо отметить, что Д. Кард уделял много внимания исследованиям влияния иммиграции на рынок труда, что нашло отражение в части его работ. Так, в совместной работе (Дж. Алтонджи, Д. Кард) [10] представлены основные выводы по оценке влияния иммиграции на рынок труда США (по 120 наиболее крупным городам). «Теоретическая модель, используемая Алтонджи и Кардом для описания влияния иммиграции на внутренний рынок труда, характеризовалась следующими новыми свойствами: это модель, со стороны спроса в которой прибытие иммигрантов моделируется как положительный шок предложения рабочей силы; рабочая сила моделируется по квалификационному признаку, а не по национальному происхождению»[11, с. 15]. В первую очередь авторы отмечают незначительное влияние на низкоквалифицированный труд в части вытеснения местного населения из предполагающих в большей мере такой уровень квалификации отраслей. Кроме того, выявлено незначительное отрицательное влияние на уровень заработной платы местных жителей с низкой квалификацией (при увеличении удельного веса иммигрантов в общей численности низкоквалифицированной рабочей силы на 1 %, снижение заработной платы местных жителей с низкой квалификацией наблюдалось на 1,2 %) [10].

Часть европейских авторов (Т. Боэри, Х. Брукер) [12], используя компьютерную модель анализа общего равновесия (КМАОР), определили, что «увеличение на 1 % рабочей силы в таких странах, как Германия и Австрия, за счет расширения ЕС, приведет к снижению заработной платы местного населения на 0,5 %» [12].

Интерес вызывает исследование влияния иностранных мигрантов на эффективность занятости посредством использования географического метода. Такой метод предусматривает концентрацию иностранных мигрантов в строго определенных районах страны и основан на следующем предположении: «Если с увеличением удельного веса внешних мигрантов происходит повышение уровня безработицы, то мигранты имеют негативное влияние на местный рынок труда. Это означает, что возможность трудоустройства или уровень заработной платы рабочих на местном рынке труда тесно связаны с долей мигрантов на этом рынке труда» [13]. Так, авторы (М. Дж. Уайт, З. Лян) [14] приходят к выводу, что при увеличении удельного веса иностранных трудовых мигрантов повышается вероятность эмиграции местных жителей, то есть их отток. «Логика географического метода на основе географического анализа заключается в том, что несмотря на высокую концентрацию иностранных мигрантов, для местного населения труднее поменять свою работу или специальность (сферу деятельности), чем поменять место проживания или специальность (сферу деятельности)» [13]. На основании такого метода Д. З. Икромов [13] делает выводы о том, что «увеличение на 1 % доли мигрантов на рынке труда ЕС приведет к сокращению заработной платы населения ЕС от 3,3 % до 6,4 %. В то же время увеличение на 1 % мигрантов на рынке труда США приведет к сокращению заработной платы местного населения всего на 1,5 %» [13].

Отрицательное влияние иностранных мигрантов на занятость населения выявлено и другими исследователями (Дж.Д.Ангрист, А. Куглер): «увеличение доли иностранных мигрантов на 1 % приведет к сокращению занятости населения ЕС на 1,6 %» [15].

В ряде работ (А. Нибур, Н. Гранато, А. Хас, С. Хаманн) [16] по исследованию влияния миграции на межрегиональные различия (неравенство) изучаемых регионов использовалась концепция Барро, в рамках которой выделяют два основных типа конвергенции (или снижения межрегиональной дифференциации): сигма-конвергенция и бета-конвергенция. Если первая предполагает снижение на протяжении всего изучаемого периода вариации (дисперсии, среднего квадратического отклонения) исследуемых показателей, то вторая - обратную зависимость темпов роста исследуемых показателей от их первоначального уровня. Бета-конвергенция означает, что регионы, характеризующиеся низким уровнем миграции, имеют тенденцию роста более высокими темпами, чем регионы, характеризующиеся высоким уровнем миграции. На основании данной концепции А. Нибур, Н. Гранато, А. Хас, С. Хаманн изучали влияние территориальной мобильности рабочей силы на межрегиональные различия относительно уровня безработицы регионов Германии за период 1995 по 2005 гг. и пришли к выводу, что «увеличение миграции влечет снижение различий в уровнях безработицы регионов» [16]. В результате использования данной концепции отдельными российскими исследователями (Е. Вакуленко)[17] для изучения влияния миграции на дифференциацию заработной платы, уровня безработицы в регионах Российской Федерации (с 1995 по 2005 гг.) установлено, что миграция не снижает межрегиональные различия по уровню заработной платы и уровню безработицы. Схожие результаты получены американским исследователем Д. Кардом [8]: доказано, что за период исследования 1980-2005 гг. существенного влияния иммиграции на распределение доходов среди коренных жителей США не обнаружено.

Д. Икромовым [13] на основе метаанализа (использование количественных статистических методов оценки результатов большого количества исследований) или «анализа анализов» [13] более 300 исследований влияния трудовой миграции на заработную плату местного населения, а также более 165 исследований влияния трудовой миграции на уровень занятости населения (опубликованных с 1982 по 2005 гг. в

США, Австрии, Израиле, Франции, Нидерландах, Норвегии, Германии, Великобритании) сделаны следующие выводы: «увеличение на 1 % трудовых мигрантов на рынке труда принимающей страны приведет к снижению заработной платы местного населения всего на 0,1 %; увеличение доли иностранных трудовых мигрантов на 1 % приведет к снижению занятости местного населения на 0,02 %» [13].

Необходимо отметить, что в качестве эмпирической базы описанных исследований использовались: данные переписей населения (CPS (Current_Population_Survey) или Текущего обследования населения, проводимое Бюро переписи населения Соединенных Штатов для Бюро статистики труда (BLS)) [6, 8]; данные Общего обследования домохозяйств Великобритании (GHS), проводимое Управлением национальной статистики (OHC) [8]; Данные Social, Behavioral and Economic Sciences (SBE) The National Science Foundation – Отдела социальных и экономических наук Национального научного фонда (NSF)

США, поддерживающего фундаментальные исследования в различных немедицинских областях науки [7, 8, 9]; данные отдельных организаций (The Institute for the Study of Labor (IZA) in Bonn (Институтом экономики труда, Германия) [12]; данные Eurostat [7, 8, 9, 12].

Таким образом, результаты, полученные зарубежными исследователями, оказались довольно противоречивыми (рисунок 1).

Их систематизация и обобщение позволили сделать выводы о наличии связи территориальной мобильности рабочей силы с показателями, характеризующими эффективность рынка труда страны-реципиента. Это позволило выдвинуть гипотезу о возможном влиянии трудовой миграции на рынок труда Республики Беларусь.

Влияние территориальной мобильности рабочей силы на рынок труда Республики Беларусь

Среди основных особенностей состояния рынка труда нашей страны за 2011–2019 гг. можно выделить снижение удельного веса тру-

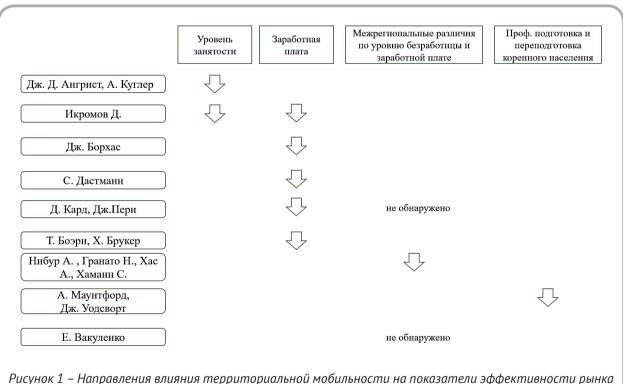


Рисунок 1 – Направления влияния территориальной мобильности на показатели эффективности рынка труда

Составлено автором.

довых ресурсов в общей численности населения в среднем на 0,4 процентных пункта. Динамика данного показателя в разрезе областей Республики Беларусь представлена на рисунке 2.

Уровень участия в рабочей силе, характеризующийся отношением численности рабочей силы к общей численности населения, на протяжении анализируемого периода не претерпевал значительных изменений (рисунок 3).

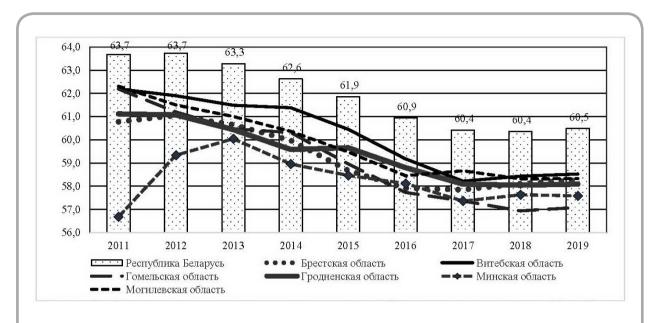


Рисунок 2 – Динамика удельного веса трудовых ресурсов в общей численности населения Республики Беларусь (2011–2019 гг.), %

Составлено автором по данным источника [3].

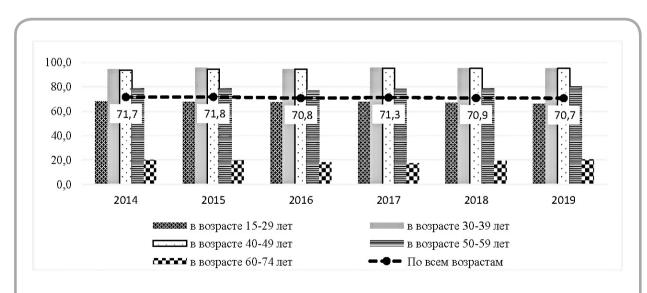


Рисунок 3 – Динамика уровня участия в рабочей силе (2014–2019), %

Анализ показателей, которые, на наш взгляд, могут быть использованы в качестве идентификаторов эффективности рынка труда нашей страны (таблица 2), в том числе по причине статистической доступности, позволяют сделать следующие выводы:

- наблюдаемое снижение уровня безработицы (в том числе рассчитанного по методологии МОТ) наряду с незначительным снижением уровня занятости (за 2011–2019 гг. в среднем на 0,58 п. п.) может свидетельствовать о наличии части населения, которая по тем или иным причинам (в том числе по причине неформальной занятости) остается статистически неучтенной;
- в качестве негативной тенденции можно отметить рост граждан, работающих за пределами Республики Беларусь за анализируемый период

в среднем на 7254 чел.;

– изменение показателей производительности труда в рассматриваемом периоде было незначительным.

Для выявления влияния территориальной мобильности на эффективность рынка труда используем показатель миграционного прироста (сокращения) населения, динамика которого представлена в таблице 3.

За 2011–2019 гг. наблюдается миграционный прирост населения Республики Беларусь (в том числе и за счет международной миграции). Однако динамика представленных показателей характеризуется значительными изменениями на протяжении всего анализируемого периода.

Построение корреляционных матриц с использованием экономико-математических

Таблица 2 – Динамика показателей-идентификаторов эффективности рынка труда в Республике Беларусь за 2011–2019 гг.

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Средний абсо- лютный прирост
уровень официально зареги- стрированной безработицы на конец периода, %	0,6	0,5	0,5	0,5	1,0	0,8	0,5	0,3	0,2	-0,05
уровень безработицы (по методологии МОТ), %				5,1	5,2	5,8	5,6	4,8	4,2	-0,18
уровень занятости, %	63,1	62,4	62,3	68,0	68,7	66,7	67,2	67,5	67,7	0,58
производительность труда (по ВДС, в сопоставимых ценах к предыдущему году), %	107,5	103,3	101,3	102,6	97,3	99,4	103,7	103,5	101,7	-0,73
производительность труда (по ВВП, в сопоставимых ценах к предыдущему году), %	105,7	103,5	101,7	102,3	97,4	99,5	103,7	103,5	101,5	-0,53
соотношение среднемесяч- ной номинальной начис- ленной ЗП и минимального потребительского бюджета (на 1 человека из семьи из 4 чел.), %	259	283	314,7	300	277,8	254,3	259	282,4	297,4	4,80
численность граждан, работающих за пределами Республики (до 1 года), чел .				62 152	39 389	59 530	82 988	95 359	98 421	7254

Таблица 3 – Динамика показателей миграционного прироста в Республике Беларусь за 2011-2019 гг.

Показатели	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Средний абсо- лютный прирост
миграционный прирост (в трудоспособном возрасте) , ч<i>ел</i>.	6 225	3 374	6 050	8 565	10 771	3 329	340	5 521	9 114	361,12
миграционный прирост (международная миграция), чел .	9 900	9 328	11 643	15 722	18 494	7 940	3 874	9 362	13 870	496,25
миграционный прирост (вне СНГ), чел .	1 009	2 382	2 328	1 779	2 668	1 322	127	2 183	4 278	408,63
миграционный прирост (СНГ), че л.	8 891	6 946	9 315	13 943	18 494	6 618	3 747	7 179	9 592	87,63

Составлено автором по данным источника [3].

Таблица 4 – Результаты парного корреляционного анализа

Показатели	миграционный прирост (в трудоспособном возрасте), <i>чел</i> .	миграционный прирост (международная миграция), <i>чел</i> .	миграционный прирост (вне СНГ), <i>чел</i> .	миграционный прирост (СНГ), uen .
уровень официально зареги- стрированной безработицы на конец периода, %	-0,241	0,253	-0,379	0,479
уровень безработицы (по методологии МОТ), %	-0,609	-0,455	-0,866	-0,220
уровень занятости, %	0,333	0,313	0,130	0,359
производительность труда (по ВДС, в сопоставимых ценах к предыдущему году), %	-0,362	-0,484	-0,383	-0,512
производительность труда (по ВВП, в сопоставимых ценах к предыдущему году), %	-0,456	-0,557	-0,376	-0,600
соотношение среднемесячной номинальной начисленной ЗП и минимального потребительского бюджета, %	0,399	0,537	0,638	0,356
численность граждан, работа- ющих за пределами Респуб- лики (до 1 года), чел .	-0,307	-0,472	0,201	-0,669

инструментов MS Excel позволило установить связь различной степени и различного характера предложенных ранее показателей эффективности рынка труда с показателями миграционного прироста (таблица 4).

Необходимо отметить, что большинство коэффициентов корреляции, представленных в таблице 4, являются достоверными в силу удовлетворения критерию p-value ≤ 0,05.

Однако часть рассматриваемых коэффициентов не соответствует данному условию (то есть p-value > 0,05). Это касается прежде всего полученных результатов относительно:

- 1) влияния миграционного прироста населения трудоспособного возраста на:
- производительность труда (рассчитанную по ВВП);
- соотношение среднемесячной заработной платы и минимального потребительского бюджета:
- 2) влияния миграционного прироста населения (СНГ) на соотношение среднемесячной заработной платы и минимального потребительского бюджета.

Такие результаты могут свидетельствовать о наличии связи иного характера (нелинейного), что требует дополнительного исследования.

Отрицательная зависимость значительной степени наблюдается между большинством по-казателей миграционного прироста и уровнем безработицы (по методологии МОТ). Причем наибольшее влияние выявлено со стороны территориальной мобильности в рамках международной миграции, исключая страны СНГ (коэффициент корреляции равен -0,866). Это дает возможность предположить, что при увеличении численности международных мигрантов уровень безработицы имеет тенденцию к снижению.

Обратная связь разной степени прослеживается также в отношении всех представленных показателей производительности труда и миграционного прироста. То есть при повышении территориальной мобильности рабочей силы наблюдается снижение производительности труда. Такая тенденция в большей степени характерна для производительности труда, рассчитанной по ВВП.

Наиболее значительные направления влияния территориальной мобильности рабочей

силы на показатели, характеризующие эффективность рынка труда, отражены на рисунке 4.

Являясь одним из важнейших параметров рынка труда, определяющих его эффективность, уровень занятости выражает меру включения населения в трудовую деятельность, определяет степень удовлетворения спроса на труд. Поэтому вопрос, касающийся определения факторов влияния на данный показатель, приобретает особую актуальность. Результаты проведенного анализа, представленные в таблице 4, позволяют рассматривать в качестве одного из таких факторов территориальную мобильность рабочей силы. Обоснованием этому выступает выявленная прямая связь средней степени (коэффициент корреляции ≥ 0,3) между большинством показателей миграционного прироста (кроме международной миграции, исключающей страны СНГ) и уровнем занятости населения.

Дальнейшее исследование, результаты которого отражены в таблице 5, показало, что на численность занятых в различных типах местности прямое влияние оказывается со стороны миграционного прироста со странами СНГ. Однако прослеживаемая связь является довольно слабой, как относительно городского, так и относительно сельского населения (коэффициенты корреляции равны 0,345 и 0,247 соответственно). Также следует отметить, что международные перемещения населения (вне СНГ) оказывают сильное отрицательное влияние на численность занятого сельского населения страны (коэффициент корреляции равен -0,781). Следовательно, правомерным является предположение о том, что при увеличении международной миграции рабочей силы численность занятого населения сельской местности склонна к снижению. Тем не менее это не относится к миграционным потокам рабочей силы между странами СНГ.

На занятость населения, осуществляющего свою трудовую деятельность в рамках частной формы собственности, прямое влияние в значительной степени оказывает миграционный прирост, сформировавшийся за счет перемещений между странами СНГ.

В целом территориальная мобильность рабочей силы международного характера в большей мере оказывает влияние на численность занятых Минской области и г. Минска. Кроме того, данные

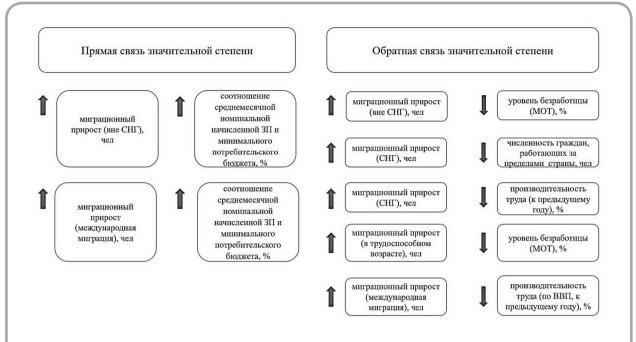


Рисунок 4 – Направления влияния территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда

Составлено автором.

таблицы 5 могут свидетельствовать о том, что прибывающие международные мигранты стремятся занять вакантные рабочие места, прежде всего, в сфере оптовой и розничной торговли, а также в сфере административных и страховых услуг. Это в большей степени характерно для перемещений в рамках стран СНГ. Тесная отрицательная зависимость численности занятых от международных перемещений рабочей силы выявлена в отношении видов деятельности, касающихся водоснабжения, сбора, обработки и удаления отходов.

Обобщение результатов проведенного анализа позволило выделить основные направления влияния территориальной мобильности рабочей силы на занятость населения Республики Беларусь (таблица 6).

Остальные выявленные формы зависимостей имеют слабовыраженный характер.

Интересным оказался тот факт, что в отношении отдельных видов экономической деятельности мигранты из стран СНГ и мигранты из иных государств оказывают влияние на занятость в разных направлениях (первые, в основном, поло-

жительное, вторые - отрицательное). Это характерно преимущественно для: сельского, лесного, рыбного хозяйства; строительства; снабжения электроэнергией и газом; финансовой страховой деятельности; операций с недвижимым имуществом. Однако обратная тенденция прослеживается в первую очередь в отношении следующих сфер: здравоохранение; информация и связь; услуги по временному проживанию и питанию. Такие результаты позволяют выдвинуть предположение о сложившихся различиях в предпочтениях относительно сфер приложения труда у прибывающих граждан в зависимости от страны-донора. Кроме того, это подтверждает выводы отдельных авторов [18, с. 41] о постоянных изменениях структуры экономики и необходимости оценки последствий таких изменений, отражающихся в том числе на социально-трудовой сфере: «увеличение объемов информации о рынке труда и ее открытости благодаря электронным ресурсам, отраслевые сдвиги в структуре спроса на труд, поляризация рабочих мест, быстрое обновление профессий и востребованных навыков, сокращение традиционных

Таблица 5 – Выявление корреляционной зависимости показателей занятости населения от показателей миграционного прироста

Численность занятого населения, uen .	миграционный прирост (международ- ная миграция), <i>чел</i> .	миграционный прирост (вне СНГ), ч <i>ел</i> .	миграционный прирост (СНГ), uen .
	По типам ме	- СТНОСТИ	
городское	0,332	-0,015	0,345
сельское	-0,443	-0,781	0,247
	По формам соб	ственности	
частная	0,598	0,034	0,672
иностранная	0,036	0,344	0,047
государственная	0,136	0,253	0,102
	По видам экономичес	кой деятельности	
сельское, лесное, рыбное хозяйство	-0,094	-0,502	0,049
обрабатывающая промышленность	0,132	-0,069	0,123
снабжение электроэнергией, газом, паром	0,2046	-0,305	0,322
водоснабжение, сбор, обра- ботка, удаление отходов	-0,716	-0,363	-0,686
строительство	0,352	-0,157	0,418
оптовая и розничная торговля	0,794	0,321	0,811
услуги по временному проживанию и питанию	0,008	0,486	-0,217
информация и связь	-0,018	0,443	-0,148
финансовая и страховая деятельность	0,337	-0,309	0,483
операции с недвижимым имуществом	0,338	-0,405	0,259
административные и страховые услуги	0,504	0,33	0,543
здравоохранение	-0,351	0,205	-0,427
	По областям республ	ики и г. Минску	
Брестская	0,147	-0,229	0,206
Витебская	0,194	-0,216	0,263
Гомельская	0,155	-0,217	0,214
Гродненская	0,214	-0,215	0,292
Минская	0,511	0,002	0,558
Могилевская	0,140	-0,201	0,196
г. Минск	0,448	0,316	0,351

Таблица 6 – Направления влияния международной миграции на занятость населения Республики Беларусь

	Признаки-результаты									
Признаки-факторы	Сильна	я связь	Связь среді	ней степени						
	прямая	обратная	прямая	обратная						
			занятость в част- ной собственности							
миграционный прирост (международная миграция), чел .	занятость в сфере оптовой и розничной торговли	занятость в сфере водоснабжения, сбора, обработки, удаления отходов	занятость в сфере административных и страховых услуг	занятость в сельской местности						
	Торговли	удаления отходов	занятость в Минской области							
миграционный прирост		занятость в	занятость в сфере оказания услуг по временному проживанию и питанию	занятость в сфере сельского, лесного, рыбного хозяйства						
(вне СНГ), чел .		сельской местности	занятость в сфере информации и связи	занятость в сфере операций с недвижимым имуществом						
	занятость в сфере оптовой и рознич- ной торговли	занятость в сфере водоснабжения, сбора, обработки, удаления отходов	занятость в сфере административных и страховых услуг							
миграционный прирост (СНГ), чел .	занятость в частной собственности		занятость в сфере осуществления фи- нансовой и страхо- вой деятельности занятость в Минской области							

Составлено автором.

секторов экономики, размывание национальных границ рынков труда» [19, с. 7]. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, гипотеза о влиянии территориальной мобильности рабочей силы на эффективность рынка труда в Республике Беларусь, выдвинутая на основании изучения зарубежного опыта исследований в данной области, частично получила свое подтверждение. Прежде всего прослеживается связь между показателями миграционного прироста и важнейшими индикаторами состояния рынка труда: уровнем безработицы (по методологии МОТ); уровнем занятости (довольно тесная связь и связь сред-

ней степени соответственно). То есть повышение территориальной мобильности способствует снижению уровня безработицы и увеличению уровня занятости. Более подробная оценка корреляции международной миграции и численности занятого населения (в разрезе типов местности, видов экономической деятельности, форм собственности и т. д.) позволила выявить существенные различия между теснотой и направлениями связи в зависимости от нахождения страны происхождения (выезда) в составе СНГ. Так, миграционный прирост, сформированный за счет перемещений населения в рамках СНГ, оказывает в основном положительное влияние

на численность занятых Республики Беларусь. Исключением являются отдельные виды экономической деятельности. То есть при увеличении международной миграции в пределах СНГ возможно снижение численности занятого населения в следующих сферах: водоснабжение, сбор, обработка, удаление отходов; здравоохранение; услуги по временному проживанию и питанию; информация и связь. В то же время миграционный прирост населения (вне СНГ) оказывает преимущественно отрицательное влияние на численность занятых относительно большинства видов экономической деятельности, кроме следующих: услуги по временному проживанию и питанию; информация и связь; административ-

ные и страховые услуги; оптовая и розничная торговля; здравоохранение. Однако это влияние имеет незначительную степень выраженности. Таким образом, допускается возможность увеличения вероятности повышения занятости в перечисленных сферах деятельности при увеличении международных перемещений населения (исключая СНГ).

Результаты проведенного исследования могут быть использованы в процессе принятия соответствующих решений по регулированию территориальной мобильности рабочей силы на рынке труда Республики Беларусь, в том числе международного характера.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Ванкевич, Е. В., Кастел-Бранко, Э. (2017), Информационно-аналитическая система рынка труда и прогнозирования потребности в кадрах: содержание и направления формирования в Республике Беларусь [Informacionno-analiticheskaja sistema rynka truda i prognozirovanija potrebnosti v kadrah: soderzhanie i napravlenija formirovanija v Respublike Belarus'], Белорусский экономический журнал, № 2, С. 73–92.
- 2. Российский рынок труда: тенденции, институты, структурные изменения. Доклад Центра трудовых исследований и Лаборатории исследования рынка труда НИУ ВШЭ. Под ред В. Гимпельсона, Р. Капелюшникова, С. Рощина (2017), Москва, 145 с.
- 3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь, режим доступа: www. belstat.qov.by/ (дата доступа: 20.02.2022).
- 4. Гуторова, Е. В. (2021), Мобильность как комплексная характеристика рабочей силы, *Инновационное развитие экономики*, № 6(66), С. 80–93.

REFERENCES

- 1. Vankevich, A. V., Kastel-Branko, E. (2017), Information and analytical system of the labor market and forecasting of personnel needs: content and directions of formation in the Republic of Belarus [Informacionno-analiticheskaja sistema rynka truda i progno-zirovanija potrebnost v kadrah: soderzhanie i napravlenija formirovanija v Respublike Belarus'], *Belarusian Economic Journal*, № 2, pp. 73–92.
- 2. The Russian labor market: trends, institutions, structural changes. Report of the HSE Labor Research Center and Labor Market Research Laboratory. Edited by V. Gimpelson, R. Kapelyushnikov, S. Roshchina (2017) [Rossijskij rynok truda: tendencii, instituty, strukturnye izmeneniya. Doklad Centra trudovyh issledovanij i Laboratorii issledovaniya rynka truda NIU VShE], Moscow, 145 p.
- 3. National Statistical Committee of the Republic of Belarus, access mode: www.belstat.gov.by/ (access date: 20.02.2022).
- Gutorova, A. V. (2021), Mobility as a complex characteristic of the labor force [Mobilinost'

- 5. Mountford, A. (2019), Trainspotting: Good Jobs. Training and Skilled Immigration Institute of Labor Economics, 39 p.
- 6. Dustmann, C. (2003), "Return Migration, Wage Differentials, and the Optimal Migration Duration, *European Economic Review*, № 47, P. 353–367.
- 7. Borjas, G. J. (2013), Labor economics, Seventh edition. New York, 546 p.
- 8. Card, D., Peri, G. (2016), Immigration Economics: A Review, Washington, 32 p.
- 9. Borjas, G. J. (2018), Immigration Economics and Immigration Policy, Harvard University, 24 p.
- 10. Altonj,i J., Card, D. (1991), The Effects of Immigration on the Labor Market Outcomes of Less Skilled Natives, Immigration, Trade, and the Labor Market. Chicago: University of Chicago Press, P. 201–234.
- 11. Воробьев, В. А., Кравченко, А. А., Майборода, Т. Л. (2021), Что и как связано в экономике? Поиск ответов через естественные эксперименты, *Белорусский экономический журнал*, № 4, С. 4–26.
- 12. Boeri, T., Br¨ucker, H. (2005), Migration, coordination failures and EU enlargement, *IZA Discussion Paper*, P. 1600.
- 13. Икромов, Д. 3. (2015), Подходы к оценке влияния международной трудовой миграции на социально-экономическое развитие страны, Фундаментальные исследования, № 2-20, 2015, С. 4469–4474.
- 14. White, M.J., Liang, Z. (1998), The effect of immigration on the internal migration of the native born population, *Population and Policy Review*, № 17(2), P. 141–166.
- 15. Angrist, J. D., Kugler, A. D. (2003), Protective or counter-productive? Labour market institutions

- kak kompleksnaya harakteristika rabochej sily], *Innovative development of the economy*, № 6(66), pp. 80–93.
- 5. Mountford, A. (2019), Trainspotting: Good Jobs. Training and Skilled Immigration Institute of Labor Economics, 39 p.
- 6. Dustmann, C. (2003), "Return Migration, Wage Differentials, and the Optimal Migration Duration, *European Economic Review*, № 47, P. 353–367.
- 7. Borjas, G. J. (2013), Labor economics, Seventh edition. New York, 546 p.
- 8. Card, D., Peri, G. (2016), Immigration Economics: A Review, Washington, 32p.
- 9. Borjas, G. J. (2018), Immigration Economics and Immigration Policy, Harvard University, 24 p.
- 10. Altonji, J., Card, D. (1991), The Effects of Immigration on the Labor Market Outcomes of Less Skilled Natives, Immigration, Trade, and the Labor Market. Chicago: University of Chicago Press, P. 201–234.
- 11. Vorobyov, V. A., Kravchenko, A. A., Mayboroda, T. L. (2021), What is connected in the economy and how? Search for answers through natural experiments [Chto i kak svyazano v ekonomike? Poisk otvetov cherez estestvennye eksperimenty], *Belarusian Economic Journal*, № 4, pp. 4–26.
- 12. Boeri, T., Br¨ucker, H. (2005), Migration, coordination failures and EU enlargement, *IZA Discussion Paper*, P. 1600.
- 13. Ikromov, D. Z. (2015), Approaches to assessing the impact of international labor migration on the socio-economic development of the country [Podhody k ocenke vliyaniya mezhdunarodnoj trudovoj migracii na social'no-ekonomicheskoe razvitie strany], *Fundamental Research*, № 2-20, 2015, pp. 4469–4474.

- and the effect of immigration on EU natives? *Economic Journal*, P. F302 F331.
- 16. Niebuhr, A., Granato, N., Haas, A., Hamann, S. (2011), Does Labour Mobility Reduce Disparities between Regional Labour Markets in Germany? *Regional Studies*, P. 1-18.
- 17.Vakulenko, E. (2016), Does migration lead to regional convergence in Russia? *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, N^9 9(1), P. 1–25.
- 18. Ванкевич, Е. В. (2013), Структурные изменения экономики и рынок труда: эффективность элементов подстройки, *Белорусский экономический журнал*, № 3, С. 41–56.
- 19. Ванкевич, Е. В. (2019), Новые тренды в сфере управления человеческими ресурсами в условиях цифровизации экономики, Экономический вестник университета, Государственное высшее учебное заведение «Переяслав-Хмельницкий государственный педагогический университет имени Григория Сковороды», № 43, С. 7–12.

- 14. White, M. J., Liang, Z. (1998), The effect of immigration on the internal migration of the native born population, *Population and Policy Review*, № 17(2), P. 141–166.
- 15. Angrist, J. D., Kugler, A. D. (2003), Protective or counter-productive? Labour market institutions and the effect of immigration on EU natives? *Economic Journal*, P. F302 F331.
- Niebuhr, A., Granato, N., Haas, A., Hamann, S. (2011), Does Labour Mobility Reduce Disparities between Regional Labour Markets in Germany? *Regional Studies*, P. 1-18.
- 17.Vakulenko, E. (2016), Does migration lead to regional convergence in Russia? *International Journal of Economic Policy in Emerging Economies*, N^9 9(1), P. 1–25.
- 18. Vankevich, A. V. (2013), Structural changes in the economy and the labor market: the effectiveness of adjustment elements [Strukturnye izmeneniya ekonomiki i rynok truda: effektivnost' elementov podstrojki], *Belarusian Economic Journal*, № 3, pp. 41–56.
- 19. Vankevich, A. V. (2019), New trends in the field of human resource management in the context of digitalization of the economy [Novye trendy v sfere upravleniya chelovecheskimi resursami v usloviyah cifrovizacii ekonomiki], Economic Bulletin of the University, State Higher Educational Institution "Pereyaslav-Khmelnitsky State Pedagogical University named after Grigory Skovoroda", № 43, pp. 7–12.

Статья поступила в редакцию 03. 04. 2022 г.

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «HR ZERO» БЕЛОРУССКИМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF APPLYING THE HR ZERO CONCEPT BY BELARUSIAN ORGANIZATIONS

УДК 331.1+004.89

И.Н. Калиновская*

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-155-169

I. Kalinouskaya*

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЦИФРОВИЗАЦИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ, КОН-ЦЕПЦИЯ «HR ZERO», УПРАВЛЕНИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСКИ-МИ РЕСУРСАМИ, КОМПЕТЕНЦИИ СПЕЦИАЛИСТОВ КАДРОВЫХ СЛУЖБ, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

В результате цифровизации экономики, непрерывного развития технологий и возрастания роли линейного руководителя в вопросах управления кадрами организации возникла концепция «HR Zero». Это принцип организации процессов управления человеческими ресурсами в компании, позволяющий автоматизировать кадровые процедуры поиска, найма, адаптации, обучения и мотивации сотрудников с помощью специализированного программного продукта, основанного на технологиях Biq Data и искусственного интеллекта; эффективно делегировать часть функций специалистов по управлению персоналом линейным руководителям и смежным специалистам, имеющим более тесный контакт и доверительные отношения с сотрудниками отделов; создавать гибкую организационную среду с комфортным климатом в коллективе, обладающим высокой степенью лояльности и приверженности компании; переориентировать HR службы с рутинных операций и кадрового делопроизводства на управление талантами и осуществление процессов планирования, прогнозирования и разработку стратегии развития компании.

Целью исследования является определение возможности применения концепции «HR Zero» в белорусских организациях. Для достижения данной цели решались следующие задачи: выявление

ABSTRACT

DIGITALIZATION OF BUSINESS PROCESSES, HR ZERO CONCEPT, HUMAN RESOURCE MANAGEMENT, COMPETENCIES OF HR SPECIALISTS, ARTIFICIAL INTELLIGENCE

The HR Zero concept has emerged as a result of the digitalization of the economy, the continuous development of technology and the increasing role of the line manager in the personnel management of the organization. This is the principle of the organization of human resource management processes in the company, which allows automating personnel procedures for the search, hiring, adaptation, training and motivation of employees with the help of a specialized software product based on Big Data and artificial intelligence technologies; effectively delegate part of the functions of HR specialists to line managers and related specialists who have closer contact and trusting relationships with department employees; create a flexible organizational environment with a comfortable climate in a team with a high degree of loyalty and commitment to the company; reorient HR services from routine operations and personnel records management to talent management and planning processes, forecasting and development of the company's development strategy.

The purpose of the study was to establish the possibility of applying HR Zero concept in Belarusian organizations. To achieve this goal, the following tasks were solved: identification of existing skills of HR specialists; analysis of changes in the skills of these specialists; assessment of compliance of HR specialists' competencies with labor market require-

^{*} E-mail: *i-kalinovskaya@yandex.by* (I. Kalinouskaya)

имеющихся навыков у специалистов кадровых служб; анализ изменений навыков этих специалистов; оценка соответствия компетенций НК специалистов требованиям рынка труда; классификация компетенций и анализ возможности автоматизации НК операций и применения концепции «НК Zero» белорусскими организациями.

В ходе исследований применялся метод непараметрического анализа и рассчитывался коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что на данном этапе концепция «HR Zero» в белорусских организациях применима фрагментарно, по отдельным операциям. Это связано со спецификой работы специалистов кадровых служб и требований белорусского рынка труда, а также зависит от общего уровня цифровизации отечественных организаций.

ments; classification of competencies and analysis of the possibility of automation of HR operations and the application of HR Zero concept by Belarusian organizations.

During the research, the method of nonparametric analysis was used and Spearman's rank correlation coefficient was calculated.

The analysis made it possible to conclude that at this stage HR Zero concept in Belarusian organizations is applicable in fragments, for individual operations. This is due to the specifics of the work of HR specialists and the requirements of the Belarusian labor market, and also depends on the overall level of digitalization of domestic organizations.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных тенденций в сфере социально-трудовых отношений является цифровизация технологий управления человеческими ресурсами, что означает процесс преобразования традиционной системы управления человеческими ресурсами через качественные изменения ее функций, достигаемые путем сочетания информационно-коммуникационных технологий с компетенциями персонала кадровой службы, ее процессами и операциями. Это позволяет применять данные по кадровому составу в цифровом виде, автоматизировать процессы и операции управления человеческими ресурсами, не требующие принятия управленческих решений, и внедрить цифровые технологии с целью улучшения рабочей среды и условий труда, повышения производительности труда, скорости и качества принимаемых управленческих решений. В целом это положительно влияет на эффективность организации.

Анализ развития процессов управления человеческими ресурсами в крупных европейских организациях позволяет говорить об их переходе на уровень «НК 3.0», который повышает эффективность и скорость решения задач найма, удержания и развития персонала, благодаря мобильным технологиям, технологиям поис-

ка кандидатов через социальные сети, анализу больших массивов данных, использованию облачных технологий и цифровым формам психометрических инструментов оценки персонала [1, 2, 3].

Цифровизация бизнес-процессов организации послужила отправной точкой внедрения концепции «HR Zero». Это принцип организации процессов управления человеческими ресурсами в компании, позволяющий [4, 5]:

- максимально автоматизировать кадровые процедуры поиска, найма, адаптации, обучения и мотивации сотрудников с помощью специализированного программного продукта, основанного на технологиях Big Data и искусственного интеллекта;
- эффективно делегировать часть функций специалистов по управлению персоналом линейным руководителям и смежным специалистам, имеющим более тесный контакт и доверительные отношения с сотрудниками отделов;
- создавать гибкую организационную среду с комфортным климатом в коллективе, обладающим высокой степенью лояльности и приверженности компании;
- переориентировать HR-службы с рутинных операций и кадрового делопроизводства на управление талантами и осуществление процес-

сов планирования, прогнозирования и разработку стратегии развития компании.

Данное направление в управлении человеческими ресурсами получило развитие с 2018 г. в результате цифровизации экономики, непрерывного развития технологий и возрастания роли линейного руководителя в вопросах управления кадрами организации. Первыми авторами, в работах которых прозвучала идея «HR Zero», были Ульрих Д., Смоллвуд Н. и Тодд А [6]. В зарубежной литературе принцип «HR Zero» звучит как «Zero based HR» и предполагает полный отказ организации от услуг HR-специалистов, путем автоматизации процессов подбора, найма, адаптации, обучения кадров и передачи функции управления талантами менеджерам подразделений [7]. Однако такая трактовка «HR Zero» в условиях российских и белорусских организаций неприменима, поскольку специалисты кадровых служб имеют более широкий перечень выполняемых ими функций: поиск и отбор персонала, формирование кадрового резерва, обеспечение кадрового делопроизводства, разработка системы мотивации, организация тренингов и программ обучения работников, выплата бонусов, поощрений и компенсаций за результаты трудовой деятельности, урегулирование конфликтов и споров между сотрудниками, сторонними организациями, клиентами, привлечение к участию в социальных мероприятиях, проведение консультаций различной тематической направленности и др. Таким образом, в большей степени принцип «HR Zero» в организациях России и Беларуси может быть реализован в таких направлениях, как подбор кадров, работа с вовлеченностью и лояльностью персонала, процесс корпоративного обучения [5].

Как показывает анализ отечественной и зарубежной литературы, на данном этапе развития экономики пока не существует компаний, полностью отказавшихся от управления человеческими ресурсами. А есть фирмы, предполагающие автоматизацию отдельных HR-функций, обучение основам управления талантами менеджеров среднего и низшего звена, передачу процесса кадрового делопроизводства на аутсорсинг [8].

Целью проведенного исследования является установление возможности применения концепции «HR Zero» в белорусских организациях.

Анализ эволюции процессов управления человеческими ресурсами в организации

Коренные изменения, вызванные эволюцией процессов управления человеческими ресурсами, отразились на основных функциях кадровых служб организаций. Анализ трансформации управления человеческими ресурсами на микроуровне позволил выделить следующие этапы цифровизации функций HR [9, 10, 11]:

- 1. «НК 1.0» (период с 80-х по 90-е годы XX века) основной функцией кадровой службы является административная функция и функция производственных отношений. В качестве основных задач отдела кадровой работы выступает кадровое делопроизводство, рекрутерская работа.
- 2. «НВ 2.0» (период с 90-х годов XX века по десятый год XXI века) трансформация административной функции в бизнес-партнерство, которая в свою очередь осуществлялась в несколько шагов:
- 2.1 1997–2001 гг. Основная функция отдела персонала организации контроль. Основные направления деятельности администрирование персонала, отчетность, расчеты с персоналом, функции бэк-офиса;
- 2.2 2002-2006 гг. Основные функции отдела операционного управления персоналом предоставление информации о сотрудниках другим отделам и службам организации, автоматизация сервисных процессов. Основные направления деятельности рекрутинг, обучение и развитие персонала, вознаграждение персонала, функции экспертного центра, зарождение НК бизнес-партнерства;
- 2.3 2007–2010 гг. Появление в крупных организациях самостоятельного отдела управления талантами, основной функцией которого стало участие в принятии управленческих решений, а основными направлениями деятельности лидерство, коучинг, управление талантами.

Также на данном этапе отмечаются: применение глубокой HR-аналитики, автоматизация повторяющихся рутинных операций.

3. «НВ 3.0» (с десятых годов XXI века по настоящее время) – трансформация кадровых служб в департаменты управления человеческими ресурсами с правом голоса при принятии важных решений для организации, применение

технологий Big Data, использование облачных технологий и корпоративных социальных сетей, автоматизацией HR-функций, наличие у специалистов цифровых навыков и компетенций. В этих условиях главенствующая роль в организации принадлежит управлению талантами, происходит передача части функций от HR-специалистов линейным руководителям, то есть наблюдается переход к концепции «HR Zero». В качестве основных навыков специалистов выступают: компьютерные, цифровые навыки, критическое мышление, умение быстро принимать решения, языковые и коммуникативные навыки, навык решения проблем, способность быстро адаптироваться.

Выделяются следующие этапы «HR 3.0»:

- 2011–2016 гг. Основная функция отдела HR, ориентированного на бизнес, поддержка плана бизнес-стратегии. Основными направлениями деятельности являются разработка планов по работе с персоналом и интеграция с бизнесом;
- 2017 по настоящее время. Основная функция высокоэффективного управления человеческими ресурсами решение задач бизнеса. Основные направления деятельности управление талантами, использование данных о персонале для эффективного построения всех бизнеспроцессов организации, построение адаптивной службы кадров, ориентированной на бизнес.

Как показывают исследования, проведенные российскими компаниями Deloitte и SAP CIS в 2019 году, средний индекс цифровизации HR процессов составляет 1,83 (при максимально возможном индексе, равном 4), что соответствует переходу с уровня «HR 1.0» на «HR 2.0» [12]. Если рассматривать данный показатель по уровню автоматизации, то он отражает состояние «HR на бумаге» и «Фрагментарная цифровизация». Для сравнения, показатель диджитализации зарубежных фирм в аналогичном опросе составил 2,08 (переход с «HR 2.0» к «HR 3.0») [12]. При этом самыми прогрессивными в цифровизации кадровой работы российских компаний оказались банковские и финансовые организации, металлургия и горнодобывающая отрасль, ІТ и телекоммуникации. Наиболее «нецифровыми» отраслями являются образование, строительство и энергетика [8].

Анализ немногочисленных публикаций, косвенно затрагивающих вопросы цифровизации кадровой работы белорусских организаций [13, 14], позволяет сделать вывод о том, что самыми передовыми сферами в данном направлении являются банковский сектор и ІТ-индустрия. Их уровень – переход с «HR 1.0» на «HR 2.0».

Анализ знаний, умений и навыков специалистов кадровых служб организаций Республики Беларусь

Для определения возможности применения концепции «HR Zero» в белорусских организациях решались следующие задачи:

- 1. Определение запаса навыков у специалистов кадровых служб белорусских организаций.
- 2. Анализ изменений навыков специалистов кадровых служб, произошедших с января 2014 г. по декабрь 2021 г.
- 3. Оценка соответствия компетенций HR-специалистов требованиям рынка труда (по данным 2021 года).
- 4. Анализ возможности автоматизации HR операций и применения концепции «HR Zero» белорусскими организациями.

Получение данных из резюме специалистов кадровых служб и вакансий организаций работодателей Республики Беларусь осуществлялось по авторской методике извлечения, очистки, классификации и анализа информации с онлайн-источников по поиску работы с применением технологий Big Data и искусственного интеллекта [15]. В соответствии с целями исследования по указанной технологии, сформирована эмпирическая база и выполнен анализ массива данных, включающий 1148 компетенций из 517 вакансий и 1002 резюме, полученных по должностям, соответствующим кодам начальной группы занятий 1212 «Руководители структурных подразделений по кадрам и трудовым отношениям», 2423 «Специалисты-профессионалы в области подбора и использования персонала», 2424 «Специалисты-профессионалы в области подготовки и развития персонала», 4416 «Работники по ведению кадровой документации» согласно Общегосударственному классификатору Республики Беларусь «Занятия» (ОКРБ 014-2017), гармонизированного с Международной стандартной классификацией занятий 2008 (International Standard Classification of

Occupations 2008, ISCO-08) на уровне четырех знаков кода.

При формировании базы данных исследования с помощью машинного обучения решена задача отбора, интерпретации и группировки должностей, необходимых для анализа. Данная проблема возникла в результате отсутствия формы внесения должностей по общепринятому классификатору на сайтах поиска работы. Таким образом изначально формировалась база, включающая должности: специалист по кадрам, ведущий специалист по кадрам, специалист по подбору персонала, специалист по кадровому делопроизводству, специалист отдела кадров, специалист отдела персонала, руководитель отдела персонала, HR-директор, HR-специалист, HR-менеджер, HR-бизнес-партнер, HR-менеджер/рекрутер, инспектор отдела кадров, руководитель отдела кадров. Далее из резюме и вакансий по этим должностям выявлялись компетенции специалистов кадровых служб.

Затем с помощью технологий искусственного интеллекта полученные компетенции объединялись в группы и систематизировались по международному классификатору ESCO (European Skills/Competences, Qualifications and Occupations), который обеспечивает совместимость резюме и вакансий по Interchange of Data between Administrations programme (IDA) и European Interoperability Framework (EIF). Как показывает практика применения классификатора ESCO странами EC, его использование имеет важное практическое значение [16]:

- работодатели используют ESCO для определения наборов навыков, компетенций и квалификаций в процессе составления вакансий, а также описания должностей на основе комплекса навыков;
- интернет-порталы поиска работы применяют словарь ESCO для анализа резюме и вакансий и отнесения их к конкретным профессиям;
- учащиеся обращаются к ESCO для построения личных профилей навыков и записей своих результатов обучения в резюме.

Также ESCO:

– обеспечивает точное сопоставление запросов соискателей работы и вакансии работодателей через European Job Mobility Portal (EURES), а также поддержку лиц и организаций, работающих с Europass CV;

– поддерживает мультиязычность, определяет и классифицирует навыки/компетенции, квалификации и профессии для рынка труда Европейского Союза, образования и обучения на двадцати семи европейских языках.

Для соотнесения имеющихся компетенций с востребованными, в данных исследованиях целесообразно применять классификатор ESCO, поскольку он дает унифицированную терминологию по профессиям, навыкам, компетенциям и квалификациям, раскрывает актуальные компетенции каждой профессии, а мультиязычность классификатора позволяет точно осуществить перевод терминологии на русский язык.

Согласно классификатору ESCO все компетенции делятся на [17]:

- знания (K), соответствующие конкретным сферам деятельности:
 - языковые знания и навыки (L):
 - L1 языки,
 - L2 классические языки;
 - навыки (S):
- S1 коммуникация, сотрудничество и творчество,
 - S2 информационные навыки,
 - S3 помощь и забота,
 - S4 управленческие навыки,
 - S5 работа с компьютером,
 - S6 обработка и перемещение,
 - S7 строительство,
- S8 работа с машинами и специализированным оборудованием;
 - установки и ценности (А):
 - А1 основные навыки и компетенции,
 - А2 навыки и компетенции мышления,
 - А3 навыки и компетенции самоуправления,
- A4 социальные и коммуникативные навыки и компетенции,
- A5 физические и ручные навыки и компетенции.
 - А6 жизненные навыки и компетенции.

Для группировки компетенций специалистов кадровых служб с целью их дальнейшего анализа применен раздел классификатора ESCO «Навыки».

На втором этапе проведено исследование изменения навыков специалистов кадровых служб организаций Республики Беларусь, произошед-

ших с января 2014 по декабрь 2021 гг., применен метод непараметрического анализа и рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена,

позволяющий вычислять коэффициент корреляции рангов и не требующий наличия нормального закона распределения коррелирующих рядов

Таблица 1 – Анализ изменения навыков специалистов кадровых служб организаций Республики Беларусь, 2014–2021 гг.

Компетенция	2014, %	2021, %	Отклонение, +/- п.п.	Ранг, 2014	Ранг, 2021
Коммуникация, сотрудничес	тво и творч	ество, \$1:			
Работа в команде	3,9	5,4	1,5	6	6
Обучение и развитие персонала	0,9	5,2	4,3	16	7
Ведение деловой переписки	0,0	2,2	2,2	17	14
Грамотная речь	0,0	2,2	2,2	17	14
Деловое общение	0,0	6,7	6,7	17	2
Группа S1	4,8	21,7	16,9	-	-
Информационные	навыки, S2:				
Работа с большим объемом информации	0,0	2,2	2,2	17	14
Группа S2	0,0	2,2	2,2	-	-
Помощь и забо	ота, S3:				
Знание кадрового законодательства	3,6	0,0	-3,6	7	19
Адаптация персонала	1,0	3,7	2,7	15	9
Группа S3	4,6	3,7	-0,9	-	-
Управленческие н	авыки, S4:				
Оформление больничных листов и отпусков	7,9	5,7	-2,2	3	3
Оформление трудовых книжек	7,9	5,7	-2,2	3	3
Ведение воинского учета	7,9	5,7	-2,2	3	3
Ведение табеля учета рабочего времени	0,0	2,5	2,5	17	12,5
Применение организаторских навыков	2,1	3,1	1,0	12	10
Администрирование приема, перевода и увольнения сотрудников	2,0	3,1	1,1	13	10
Подбор персонала	2,3	4,0	1,7	15,5	18
Оценка персонала и кандидатов	3,0	3,1	0,1	9	10
Управление командой	2,0	2,2	0,2	13	14
Владение корпоративной культурой	0,0	2,0	2,0	17	18,5
Группа S4	35,1	37,1	2,0	-	-
Работа с компьют	гером, \$5:				
Владение «1C: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом»	9,4	2,6	-6,8	2	13
Владение офисными программами (Microsoft office)	20,8	11,0	-9,8	1	1
Владение офисной техникой	2,3	0,0	-2,3	11	19
Группа S5	32,5	13,6	-18,9	-	
Работа с машинами и специализиро	ванным обо	рудование	м, \$8:		
Управление автомобилем (категория В)	2,9	0,0	-2,9	10	19
Группа S8	2,9	0,0	-2,9	-	
Другие	20,1	21,7	1,6	-	-

Источник: составлено автором на основании Belmeta.com, Rabota.by и GSZ.gov.by по состоянию на 17.03.2022.

(таблица 1).

Расчет коэффициента ранговой корреляции (r) проводился по формуле [18]:

$$r_s = 1 - 6 \times \frac{\sum d^2}{N \times (N^2 - 1)}$$
, (1)

где d^2 – сумма квадратов разности между рангами; N – количество имеющихся компетенций.

Статическая значимость коэффициента ранговой корреляции (r_s) определялась с помощью расчетного коэффициента t-Стьюдента (t_p) по формуле [18]:

$$t_p = \frac{r_s \sqrt{N-2}}{\sqrt{1-r_s^2}} \quad . \tag{2}$$

Согласно формул (1)–(2), коэффициент ранговой корреляции составил 0,411, расчетный коэффициент t-Стьюдента – 2,015, табличный коэффициент t-Стьюдента равен 2,011 (при степени свободы 48 и уровне значимости коэффициента – 0,05).

Анализ полученного коэффициента корреляции позволил установить, что присутствует умеренная прямая связь между компетенциями 2014 и 2021 гг., поскольку коэффициент ранговой корреляции находится в промежутке 0,3—0,5. Гипотеза о равенстве нулю коэффициента ранговой корреляции Спирмена отклонена, что говорит о статически значимом коэффициенте ранговой корреляции и значимой корреляционной связи.

Поскольку установлена умеренная связь между компетенциями 2014 и 2021 гг., возможен дальнейший анализ информации, сгруппированной по предлагаемой классификации.

Анализ навыков специалистов кадровых служб позволил установить, что:

- в большей степени компетенции специалистов кадровых служб в 2014 г. представлены управленческими навыками (35,1 %) и навыками работы с компьютером (32,5 %), а в 2021 г. управленческими навыками (37,1 %) и навыками в коммуникациях, сотрудничестве и творчестве (21,7 %);
 - рост имеющихся навыков отмечается в

группе «Коммуникация, сотрудничество и творчество» (+16,9 п.п.), «Информационные навыки» (+2,2 п.п.) и «Управленческие навыки» (+2,0 п.п);

– снижение навыков наблюдается по группам: «Работа с компьютером» (-18,9 п.п.), «Помощь и забота» (-3,6 п.п.) и «Работа с машинами и специализированным оборудованием» (-2,9 п.п.).

Объектом дальнейшего анализа стали навыки специалистов, различие в рангах которых превышало 3 пункта (при положительной и отрицательной динамике). К таковым относились:

- с положительной динамикой администрирование приема, перевода и увольнения сотрудников, грамотная речь, ведение деловой переписки, ведение табеля учета рабочего времени деловое общение, работа с большим объемом информации, адаптация персонала, обучение и развитие персонала;
- с отрицательной динамикой владение офисной техникой, знание кадрового законодательства, управление автомобилем (категория В), владение «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом».

Одна часть компетенций с положительными изменениями носит характер кадровых процедур, то есть представляет узкое направление деятельности специалиста (адаптация персонала, обучение и развитие персонала и т. д.). Другая часть – является следствием трансформации бизнес-процессов (например, работа с большим объемом информации).

Компетенции с отрицательными тенденциями являются «подвижными», то есть мигрирующими в другие должности. Так, компетенция «Владение 1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом» переходит экономисту и/или бухгалтеру, «Знание кадрового законодательства» – юристу, «Владение офисной техникой» – секретарю, «Управление автомобилем (категория В)» – теряет свою актуальность в результате цифровизации бизнес-процессов.

В результате анализа изменений компетенций специалистов кадровых служб организаций Республики Беларусь, произошедших с 2014 г. по 2021 г.:

– установлено, что деятельность кадровых служб в большей степени отвечает требованиям управления персоналом организации, чем

управлению человеческими ресурсами, то есть HR-специалисты сосредоточены на локальных процессах и разрозненных процедурах, документообороте и кадровом делопроизводстве;

- определено, что в 2021 г. компетенции по управлению человеческими ресурсами у специалистов кадровых служб представлены лишь на 21,9 %, а остальные компетенции направлены на кадровые процессы, в частности, кадровое делопроизводство (19,6 %);
- выявлена тенденция перехода жестких навыков от специалистов кадровых служб к специалистам-профессионалам смежных направлений, что соответствует тенденциям трансформации функций управления человеческими ресурсами в рамках цифровизации бизнес-процессов при переходе от этапа HR 2.0 к HR 3.0 (направление «HR Zero»).

На следующем этапе исследований проводился анализ соответствия компетенций, имеющихся у HR-специалистов и востребованных рынком труда Республики Беларусь. При изучении данных из резюме и вакансий, собранных в сформированной эмпирической базе за 2021 год, с целью установления силы и направления связи между имеющимися и востребованными компетенциями применен метод непараметрического анализа и рассчитан коэффициент ранговой корреляции Спирмена (таблица 2).

Коэффициент ранговой корреляции имеющихся и востребованных компетенций HR-специалистов, полученный по формулам (1)–(2), составил 0,474, расчетный коэффициент t-Стьюдента – 2,636, табличный коэффициент t-Стьюдента – 2,056 (при степени свободы 60 и уровне значимости коэффициента – 0,05).

Анализ полученного коэффициента корреляции позволил установить, что присутствует умеренная прямая связь между имеющимися и востребованными компетенциями HR-специалистов (по данным 2021 года), поскольку коэффициент ранговой корреляции находится в промежутке 0,3–0,5. Гипотеза о равенстве нулю коэффициента ранговой корреляции Спирмена отклонена, что говорит о статически значимом коэффициенте ранговой корреляции и значимой корреляционной связи. То есть анализ имеющихся и востребованных компетенций закономерен.

Согласно данным таблицы 2, цифровизация,

отразившаяся на деятельности современных организаций, а также операции оцифрования, сбора, анализа информации о кадрах, требуют от специалистов служб управления человеческими ресурсами владения современными HR-инструментами, которые уже востребованы работодателями. Например, составление штатного расписания в автоматическом режиме, владение «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом», автоматизация кадрового документооборота, аутстаффинг, работа в системе «Консультант плюс», управление HR-брендом в социальных сетях.

Оценка несоответствий между имеющимися и требуемыми навыками специалистов кадровых служб осуществлялась путем ранжирования компетенций, установления знака и величины отклонения в полученных рангах. При анализе несоответствий за базовый компонент принимался ранг компетенции в вакансиях. Если ранг компетенции в резюме был меньше, чем у вакансии, и отклонение имело отрицательное значение, то такое несоответствие относилось к нехватке компетенций, а если ранг компетенции в резюме был больше, а отклонение положительным – к избытку.

Имеющиеся и востребованные компетенции специалистов кадровых служб белорусских организаций в разрезе групп компетенций имеют признаки дисбаланса, отражающиеся отклонением и несоответствием рангов резюме и вакансий (таблица 2). Отклонения процентного соотношения наличия компетенции в резюме и вакансиях по группам компетенций представлены на рисунке 1.

Анализ соотношения между имеющимися и востребованными компетенциями HR-специалистов позволил установить навыки с признаками дисбаланса и классифицировать их по нехватке и избытку компетенций:

а) выявлена нехватка следующих компетенций: администрирование приема, перевода и увольнения сотрудников, оценка персонала и кандидатов, ведение деловой переписки, ведение воинского учета, владение корпоративной культурой, составление штатного расписания, ведение табеля учета рабочего времени, работа с большим объемом информации, владение «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персона-

Таблица 2 – Анализ имеющихся и востребованных компетенций HR-специалистов

	Предс	тавлена в	Отклонение,	Ранг,	Ранг,
Компетенция	резюме, %	вакансиях, %	+/- п.п.	резюме	вакансии
Коммуникация		во и творчество, S	1:	-	
Работа в команде	5,4	1,4	4,0	21	15,5
Обучение и развитие персонала	5,2	1,6	3,6	20	17
Ведение деловой переписки	2,2	1,4	0,8	11,5	15,5
Грамотная речь	2,2	0,7	1,5	11,5	9
Деловое общение	6,7	0,0	6,7	25	1
Аутстаффинг	0,0	0,7	-0,7	4,5	9
Управление HR брендом в социальных сетях	0,0	0,5	-0,5	4,5	7
Группа S1	21,7	6,3	15,4	-	-
Инфо	рмационные н	авыки, S2:			
Работа с большим объемом информации	2,2	1,2	1,0	11,5	13
Группа S2	2,2	1,2	1,0	-	-
Г	Іомощь и забот	a, S3:			
Адаптация персонала	3,7	0,9	2,8	19	11
Группа S3	3,7	0,9	2,8	-	-
Упра	вленческие на	выки, S4:			
Оформление больничных листов и отпусков	5,7	6,4	-0,7	23	23
Оформление трудовых книжек	5,7	4,7	1,0	23	21,5
Ведение воинского учета	5,7	7,3	-1,6	23	24
Ведение табеля учета рабочего времени	2,5	4,7	-2,2	14	21,5
Составление штатного расписания	0,0	8,4	-8,4	4,5	25
Применение организаторских навыков	3,1	0,4	2,7	17	5
Администрирование приема, перевода и увольнения сотрудников	3,1	4,2	-1,1	17	20
Подбор персонала	4,0	4,0	0,0	16	16
Оценка персонала и кандидатов	3,1	2,6	0,5	17	18
Управление командой	2,2	0,4	1,8	11,5	5
Владение корпоративной культурой	2,0	1,2	0,8	9	13
Знание основ тайм-менеджмента	0,0	0,4	-0,4	4,5	5
HR бизнес-партнер	0,0	0,2	-0,2	4,5	2,5
Проведение тимбилдинга	0,0	0,2	-0,2	4,5	2,5
Группа S4	37,1	45,1	-8,0	-	-
Раб	ота с компьюте	ром, \$5:			
Владение «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом»	2,6	3,3	-0,7	15	19
Владение офисными программами (Microsoft office)	11,0	12,4	-1,4	26	26
Автоматизация кадрового документооброта	0,0	1,2	-1,2	4,5	13
Работа в системе «Консультант плюс»	0,0	0,7	-0,7	4,5	9
Группа S5	13,6	17,6	-4,0	-	-
Другие	21,7	28,9	-7,2	-	

Источник: составлено автором на основании Belmeta.com, Rabota.by и GSZ.gov.by по состоянию на 17.03.2022.

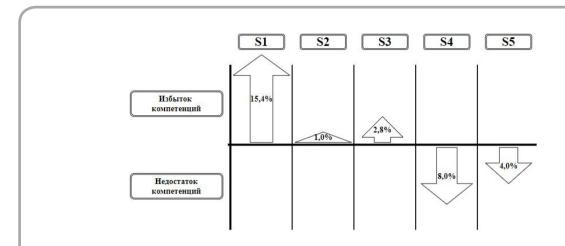
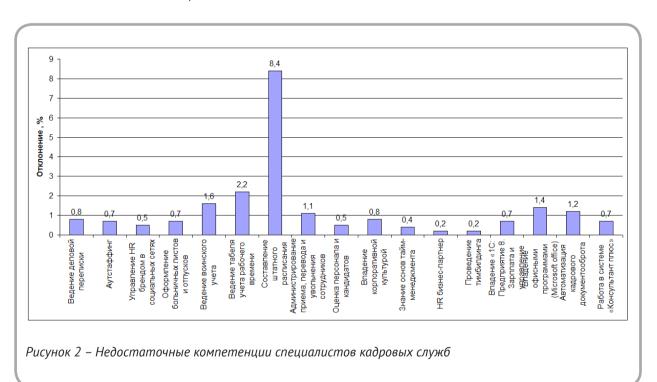


Рисунок 1 – Дисбаланс навыков специалистов кадровых служб в разрезе групп компетенций:

S1 – коммуникация, сотрудничество и творчество, S2 – информационные навыки, S3 – помощь и забота,

S4 – управленческие навыки, S5 – работа с компьютером

Источник: составлено автором.



Источник: составлено автором.

лом», автоматизация кадрового документооборота, аутстаффинг, работа в системе «Консультант плюс», знание основ тайм-менеджмента, управление HR-брендом, HR бизнес-партнер, проведение тимбилдинга (рисунок 2);

б) установлен избыток по компетенциям: организаторские навыки, работа в команде, адаптация персонала, обучение и развитие персонала, управление командой, грамотная речь, деловое общение, оформление трудовых книжек (рису-

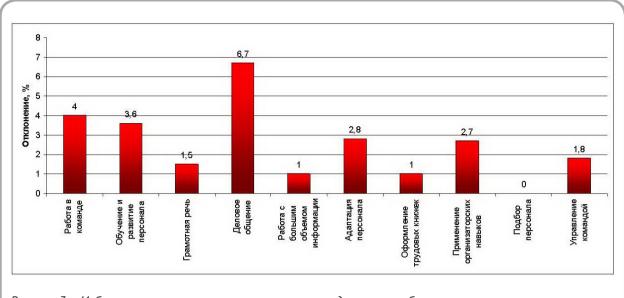


Рисунок 3 – Избыточные компетенции специалистов кадровых служб

Источник: составлено автором.

нок 3).

Цифровые навыки, необходимые для применения концепции «HR Zero», отнесены в группу с отрицательным дисбалансом (кроме «Владение офисными программами (Microsoft office)») – по ним выявлен недостаточный уровень имеющихся у специалистов компетенций.

В дальнейших исследованиях выявленные компетенции специалистов кадровых служб анализировались на возможность автоматизации HR-операций, для которых необходимы данные навыки (таблица 3), и делался вывод о готовности применения концепции «HR Zero» кадровыми службами белорусских организаций.

Группировка выявленных компетенций специалистов кадровых служб позволила установить, какие навыки согласно группам классификатора ESCO наиболее востребованы рынком труда. Так, пользуются максимальным спросом у работодателей управленческие навыки, далее следуют навыки коммуникации, сотрудничества и творчества, на третьем месте находится работа с компьютером, на четвертом – помощь и забота, а замыкают список информационные навыки.

При этом полностью автоматизировать возможно операции, для выполнения которых необходимы навыки работы с компьютером и представленные информационные навыки. А

операции по навыкам группы S1 «Коммуникация, сотрудничество и творчество» – не автоматизируются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенных исследований установлено, что навыки специалистов кадровых служб белорусских организаций в большей степени отвечают требованиям деятельности по управлению персоналом организации, чем управлению человеческими ресурсами. При этом изменения компетенций специалистов, произошедшие с 2014 по 2021 год, отражают переход мягких навыков к линейным руководителям подразделений, а жестких – к специалистам-профессионалам смежных направлений, что соответствует тенденциям трансформации HR-функций.

Изучение востребованных рынком труда компетенций HR-специалистов позволило выявить новые навыки в этой профессии:

- автоматизация кадрового документооборота,
- составление штатного расписания в автоматическом режиме,
- знание «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом»,
 - аутстаффинг,
 - работа в системе «Консультант плюс»,
 - управление HR-брендом в социальных се-

Таблица 3 – Анализ возможности автоматизации HR-операций по навыкам специалистов

Навыки	Возможность автоматизации операций
S1: Работа в команде Ведение деловой переписки Управление HR-брендом в социальных сетях Аутстаффинг Грамотная речь Деловое общение Обучение и развитие	не возможно
S2: Работа с большим объемом информации	возможно полностью
S3: Адаптация персонала	возможно частично
S4: Ведение воинского учета Оформление трудовых книжек Управление командой Оформление больничных листов и отпусков Подбор персонала Оценка персонала и кандидатов Применение организаторских навыков Администрирование приема, перевода и увольнения сотрудников Знание основ тайм-менеджмента Проведение тимбилдинга Составление табеля учета рабочего времени Составление штатного расписания в автоматическом режиме Знание корпоративной культуры НК бизнес-партнер	возможно частично
S5: Владение офисными программами (Microsoft office) Владение «1С: Предприятие 8. Зарплата и управление персоналом» Автоматизация кадрового документооборота Работа в системе «Консультант плюс»	возможно полностью

Источник: составлено автором.

тях.

Анализ соотношения между имеющимися и востребованными компетенциями специалистов кадровых служб позволил установить навыки с признаками дисбаланса и классифицировать их

по нехватке и избытку компетенций. Так, по цифровым навыкам, необходимым для применения концепции «HR Zero», выявлен недостаточный уровень имеющихся у специалистов компетенций.

Проведенный анализ изменений компетенций специалистов кадровых служб, их соответствия требованиям рынка труда и исследование возможностей автоматизации НR-операций позволил сделать вывод о том, что на данном этапе концепция «HR Zero» в белорусских организациях применима фрагментарно, по отдельным операциям, это связано со спецификой работы специалистов кадровых служб и требований белорусского рынка труда, а также общего уровня цифровизации отечественных организаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Калиновская, И. Н. (2021), Цифровой рекрутинг с использованием интеллектуальных диалоговых систем, построенных на принципах машинного обучения, *Цифровая трансформация*, 2021, № 1 (19), С. 24–34.
- 2. Ванкевич, Е. В. (2011), Кадровые службы: направления активизации, *Беларуская думка*, 2011, № 1, С. 52–59.
- 3. Totah, Z. (2019), HR Trends in 2020: The Future of Human Resource Management, *Select Hub*, Режим доступа: https://www.selecthub.com/hris/future-of-hr-software-trends/, дата доступа: 02.03.2022.
- 4. HR Zero как управлять персоналом в эпоху цифровизации (2022), *PБК Pro*, Режим доступа: https://pro.rbc.ru/demo/6115ec599a7 9472a4be9d2ea, дата доступ: 11.03.2022.
- 5. Как мобильный «Личный кабинет» сотрудника расширяет горизонты рабочих коммуникаций (2021), *HR директор*, Режим доступа: https://www.hr-director.ru/article/67799-bosskadrovik-kak-mobilnyy-lichnyy-kabinet-sotrudnika-rasshiryaet-gorizonty-rabochih, дата доступа: 03.05.2022.
- 6. Birchall, D. Zero based HR: A study by the Henley Centre for HR Excellence (2021), *Henley Busi*-

REFERENCES

- 1. Kalinouskaya, I. N. (2021), Digital recruiting using intelligent dialog systems based on machine learning principles [Cifrovoj rekruting s ispol'zovaniem intellektual'nyh dialogovyh sistem, postroennyh na principah mashinnogo obuchenija], Cifrovaja transformacija Digital Transformation, 2021, № 1 (19), PP. 24–34.
- 2. Vankevich, A. V. (2011), Personnel services: directions of activation [Kadrovye sluzhby: napravleniya aktivizacii], *Belaruskaya Dumka Belarusian idea*, 2011, № 1, PP. 52–59.
- 3. Total, Z. (2019), HR Trends in 2020: The Future of Human Resource Management, *Select Hub*, URL: https://www.selecthub.com/hris/future-of-hrsoftware-trends/, access date: 02.03.2022.
- 4. HR Zero how to manage personnel in the era of digitalization (2022), [HR Zero kak upravljat' personalom v jepohu cifrovizacii], *RBK Pro RBC Pro*, URL: https://pro.rbc.ru/demo/6115ec599a79472a4be9d2ea, access ваte: 11.03.2022.
- 5. How an employee's mobile «Personal Account» expands the horizons of work communications (2021), [Kak mobil'nyj «Lichnyj kabinet» sotrudnika rasshiryaet gorizonty rabochih kommunikacij], *HR Director*, URL: https://www.hr-director.ru/article/67799-boss-kadrovik-

- ness School Greenlands Henley-on-Thames Oxford-shire, URL: https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/assets.henley.ac.uk/legacyUploads/pdf/exec-ed/Zero_based_HR.pdf, Access Date: 03.05. 2022.
- 7. Ulrich, D., Younger, J., Brockbank, W., Ulrich, M. (2018),HR from the Outside In: Six Competencies for the Future of Human Resources, *McGraw-Hill Companies*, URL: http://hrfromtheoutsidein.com/, Access Date: 03.05.2022.
- 8. Accelerating the journey to HR 3.0 (2021), *IBM Institute for Business Value*, URL: https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/hr-3, Access Date: 03.05. 2022.
- Keith McNulty (2020), HR 3.0: Data-driven, agile and business focused, *People Analytics* at McKinsey, URL: https://www.youtube.com/ watch?v=W 2hfF0xk7I,Access Date: 11.03.2022.
- 10. Работа будущего: HR 2025 (2019), *Прогноз Deloitte*, режим доступа: https://www.oracle.com/ru/a/ocom/docs/future-hr-deloitte.pdf, дата доступа: 12.03.2022.
- 11. HR 2.0 The New «Old School» in Human Resources (2011), *Asksonnie.info*, режим доступа: https://asksonnie.info/hr-2-0/, дата доступа: 10.03.2022.
- 12. HR-тренды: скоро ли ждать цифровой трансформации найма (2019), Журнал VK Cloud Solutions об IT-бизнесе, технологиях и цифровой трансформации, режим доступа: https://mcs.mail.ru/blog/hr-trendy-skoro-li-zhdat-cifrovoj-transformacii-najma, режим доступа: https://asksonnie.info/hr-2-0/, дата доступа: 10.03.2022.
- 13. Беляцкий, Н. П., Подупейко, А. А. (2019), Цифровые трансформации управления персоналом, *Вестник Белорусского государственного экономического университета*, 2019, № 4 (135), С. 24–30.

- kak-mobilnyy-lichnyy-kabinet-sotrudnika-rasshiryaet-gorizonty-rabochih/, access date: 03.05.2022.
- 6. Birchall, D. Zero based HR: A study by the Henley Centre for HR Excellence (2021), Henley Business School Greenlands Henley-on-Thames Oxford-shire, URL: https://s3-euwest-1.amazonaws.com/assets.henley.ac.uk/legacyUploads/pdf/exec-ed/Zero_based_HR.pdf, access date: 03.05.2022.
- 7. Ulrich, D., Younger, J., Brockbank, W., Ulrich, M. (2018), HR from the Outside In: Six Competencies for the Future of Human Resources, *McGraw-Hill Companies*, URL: http://hrfromtheoutsidein.com/, access date: 03.05.2022.
- 8. Accelerating the journey to HR 3.0 (2021), *IBM Institute for Business Value*, URL: https://www.ibm.com/thought-leadership/institute-business-value/report/hr-3, access date: 03.05. 2022.
- Keith McNulty (2020), HR 3.0: Data-driven, agile and business focused, *People Analytics* at McKinsey, URL: https://www.youtube.com/ watch?v=W 2hfF0xk7I, access date: 11.03.2022.
- 10. Work of the future: HR2025 (2019), [Rabota budushhego: HR 2025], *Prognoz Deloitte Deloitte Forecast*, URL: https://www.oracle.com/ru/a/ocom/docs/future-hr-deloitte.pdf, access date: 12.03.2022.
- 11. HR 2.0 The New «Old School» in Human Resources (2011), *Asksonnie.info*, URL: https://asksonnie.info/hr-2-0/, access date: 10.03.2022.
- 12. HR trends: How soon to wait for the digital transformation of hiring (2019), [HR-trendy: skoro li zhdat' cifrovoj transformacii najma], Zhurnal VK Cloud Solutions ob IT-biznese, tehnologijah i cifrovoj transformacii VK Cloud Solutions Magazine about IT business, technology and digital transformation, URL: https://mcs.mail.ru/blog/hr-trendy-skoro-li-zhdat-cifrovoj-

- 14. Титаренко, Л. Г., Карапетян, Р. В. (2021), Цифровая трансформация трудовой сферы: сравнительный анализ показателей России и Беларуси, Журнал Белорусского государственного университета. Социология, 2021, № 1, С. 52–69.
- 15. Vankevich, A., Kalinouskaya, I. (2022), Better understanding of the labour market using Big Data, *Ekonomia i prawo*. *Economics and law*, 2022, Vol. 20, № 3, Pp. 677–692.
- 16. Богачков, Ю. Н., Ухань, П. С., Милашенко, В. Н. (2014), Реестр компетентностей как инструмент формирования образовательно профессиональных программ и систем сертификации, *OTO*, 2014, № 1, режим доступа: https://cyberleninka.ru/article/n/reestrkompetentnostey-kak-instrument-formirovaniya-obrazovatelno-professionalnyh-programm-i-sistem-sertifikatsii, дата обращения: 02.03.2022.
- 17. Классификатор ESCO (2021), *ESCO*, режим доступа: https://ec.europa.eu/esco/portal/skill, дата обращения: 22.03.2022.
- 18. Марапов, Д. (2013), Критерий Спирмена, *Me- moды статистики*, режим доступа: https:// medstatistic.ru/methods/methods9.html, дата доступа: 01.03.2022.

- transformacii-najma, access mode: https://asksonnie.info/hr-2-0/,access date: 10.03.2022.
- 13. Belyatskii, N. P., Podupeiko, A. A. (2019), Digital Transformations of Personnel Management [Cifrovye transformacii upravleniya personalom], Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta Bulletin of the Belarusian State University of Economics, 2019, № 4 (135), pp. 24–30.
- 14. Titarenko, L. G., Karapetyan, R. V. (2021), Digital transformation of the labor sphere: a comparative analysis of indicators of Russia and Belarus [Cifrovaya transformaciya trudovoj sfery: sravnitel'nyj analiz pokazatelej Rossii i Belarusi], Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Sociologiya Journal of the Belarusian State University. Sociology, 2021, № 1, pp. 52–69.
- 15. Vankevich, A., Kalinouskaya, I. (2022), Better understanding of the labour market using Big Data, *Ekonomia i prawo*. *Economics and law*, 2022, Vol. 20, № 3, pp. 677–692.
- 16. Bogachkov, Yu. N., Wuhan, P.S., Melashchenko, V. N. (2014), Register of competencies as a tool for the formation of educational and professional programs and certification systems, [Reestr kompetentnostej kak instrument formirovanija obrazovatel'no professional'nyh programm i sistem sertifikacii], *OTO − GRT*, 2014, № 1, URL: https://cyberleninka.ru/article/n/reestr-kompetentnostey-kak-instrument-formirovaniya-obrazovatelno-professionalnyh-programm-i-sistem-sertifikatsii, access date: 02.03.2022.
- 17. ESCO (2021), *ESCO*, URL: https://ec.europa.eu/esco/portal/skill, access date: 22.03.2022.
- 18. Marapov, D. (2013), Spearman's criterion, [Kriterij Spirmena], *Metody statistiki Statistical methods*, URL: https://medstatistic.ru/methods/methods9.html, access date: 01.03.2022.

Статья поступила в редакцию 12. 04. 2022 г.

AHAЛИЗ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО КАПИТАЛА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ANALYSIS OF INTELLECTUAL CAPITAL OF BELARUS

УДК 330.14:330.35

В.А. Коржак*

Белорусский государственный экономический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-170-180

V. Korzhak*

Belarusian State University of Economics

РЕФЕРАТ

ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ, НАУКА, НАУЧ-НО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ, ЭФФЕКТИВ-НОСТЬ НАУЧНО-ИННОВАЦИОННОГО СЕКТО-РА, ВЗАИМОСВЯЗЬ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА С РОСТОМ ВВП

Объект исследований – интеллектуальный капитал Республики Беларусь. Цель работы – проанализировать текущее состояние интеллектуального капитала страны для последующего учета полученной информации при разработке методики оценки его влияния на экономический рост. Отбор показателей интеллектуального капитала, определяющих научно-технический прогресс и влияющих на рост ВВП, произведен на основе исследований зарубежных авторов и статистических данных национального реестра, в состав которых вошли следующие показатели: затраты на научные исследования и разработки (НИР), доля затрат на НИР в процентах к ВВП, количество организаций и исследователей, занимающихся НИР, в том числе кандидатов и докторов наук, а также количество высших учебных заведений. Анализ проведён с помощью графических и табличных данных в сравнении с зарубежными странами. В результате статистической обработки данных за 2011-2020 гг. установлено, что уровень интеллектуального капитала Республики Беларусь по показателям научного, научно-технического и инновационного потенциалов страны в последние годы снижается, в связи с чем разработаны рекомендации по его увеличению.

ABSTRACT

INNOVATIVE DEVELOPMENT, SCIENTIFIC AND TECHNICAL POTENTIAL, EFFICIENCY OF THE SCIENTIFIC AND INNOVATIVE SECTOR, THE RELATIONSHIP OF SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL PROGRESS WITH GDP GROWTH

This article presents the current state of the scientific and innovative sector of the Republic of Belarus in comparison with foreign countries. The connection of the study with the country's programs of socio-economic and innovative development is also shown. The analysis of the current state of the intellectual capital of the country was carried out using graphical and tabular data based on statistical data from the National Register and research by foreign authors for 2011–2020. The main significant indicators of intellectual capital that determine scientific and technological progress and affect GDP growth are given. Thus, as a result of the analysis, it turned out that the level of expenditures on research and development in Belarus has been decreasing in recent years (on average 0.55 % of GDP) and is far from the accepted threshold of economic security (3%), and this is one of the main engines of research effectiveness. As the practice of foreign countries leading in the field of scientific research has shown, spending on research and development (R&D) leading to significant results should be about 3 %: in the EU 2-3 % of GDP, in the USA - 2.7 %, China – 2.19 %, and in Korea and Israel, they reach 4.5-5 % of GDP. The article also provides a link between the growth rate of research costs and GDP growth, changes in the number of organizations engaged in research, the share of scientific degrees (Doctors and Candidates of Sciences) in the total number of researchers, changes in the number of higher educational institutions.

^{*} E-mail: mavika09@mail.ru (V. Korzhak)

ВВЕДЕНИЕ

Республика Беларусь является страной, выбравшей интеллектуальный путь развития как стратегический ориентир в своих нормативноправовых документах. Так, в Стратегии «Наука и технологии: 2018-2040» определены ключевые черты будущей интеллектуальной экономики, основные направления государственной политики в науке и инновационной деятельности, инструменты стимулирования научно-технологического развития национальной экономики на период до 2040 г., а также ожидаемые результаты от реализации Стратегии [16], которые позволят стране выйти на мировой уровень конкурентоспособности по ряду направлений на основе развития ИТ-технологий, интеллектуализации и цифровой индустриализации [10].

Цели, задачи, направления и механизмы построения в Беларуси экономики, основанной на интеллекте, прописаны также в таких документах, как Директива Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» [13], Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 г. [9], Программа социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. [14], Государственная программа инновационного развития Республики Беларусь на 2021–2025 гг. [11] и др.

Согласно Стратегии в Беларуси до 2040 г. наукоемкость ВВП должна составить 3 %, доля прорывных научных исследований и разработок – 30 % в общем объеме, доля высокотехнологичных секторов в структуре экономики – 10 %, доля инновационной продукции в общем объеме производства продукции промышленных предприятий – 25 % [10,16].

Переход к новой «интеллектуальной» экономике подразумевает рост, в первую очередь, интеллектуальной составляющей страны. В современной науке есть такое понятие, как «интеллектуальный капитал». Он представляет собой потенциальные (которые могут принести результат в будущем) и уже капитализируемые (которые уже материализовались в денежной или др. форме) знания и возможности, выраженные в результатах интеллектуальной деятельности (РИДы).

Поэтому считается, что «интеллектуальный капитал» (ИК) – это результат интеллектуальной деятельности потенциала страны с использованием имеющихся ресурсов [6].

Для интеллектуального капитала имеются свои показатели, характеризующие его развитие. К ним относятся: количество запатентованных изобретений, затраты на научные исследования и разработки, численность занятых научными исследованиями и другие показатели.

Результаты и их обсуждение

Основываясь на опубликованных статистических данных, проанализируем показатели интеллектуального капитала Республики Беларусь и сравним их динамику по годам.

Рассмотрим динамику доли затрат на научные исследования и разработки (НИР) к ВВП Республики Беларусь с 2011 по 2020 г. (рисунок 1, данные из [8, 12]).

Как видно из рисунка 1, доля затрат на НИР в стране в 2020 г. составила 0,55% к ВВП, то есть по интенсивности научно-исследовательской деятельности, измеряемой долей затрат на науку в ВВП, Беларусь отстаёт не только от экономически развитых стран, но и от некоторых развивающихся стран мира. В 2012–2016 гг. наблюдалось снижение данного показателя и минимальное значение (0,5 %) приходилось на 2015–2016 гг. В последующие два года заметен небольшой рост (до 0,6 %), однако в 2020 г. значение показателя снова приблизилось к минимуму. При этом номинальный объём ВВП и расходы на НИР в это время повышались.

Отметим для сравнения, что у ведущих стран ЕС расходы на научные исследования и опытноконструкторские разработки (НИОКР) составляют 2-3 % ВВП, в США - 2,7 %, Китае - 2,19 %, а в таких странах, как Корея и Израиль, достигают 4,5-5 % ВВП. При этом в динамике 2010-2018 гг. у большинства стран наблюдается ежегодный прирост этого показателя на 0,1-0,2 % (например, Норвегия, Польша, Германия, Греция), а в некоторых странах (Канада, Австралия, Ирландия), наоборот, снижение на 0,05-0,12 %. В Республике Беларусь, как и в Испании, Латвии, Франции, этот показатель то снижается, то повышается в пределах 0.01-0.08 %. Исходные данные по ВВП и затратам на НИР Беларуси показаны в таблице 1, а результаты сравнения их

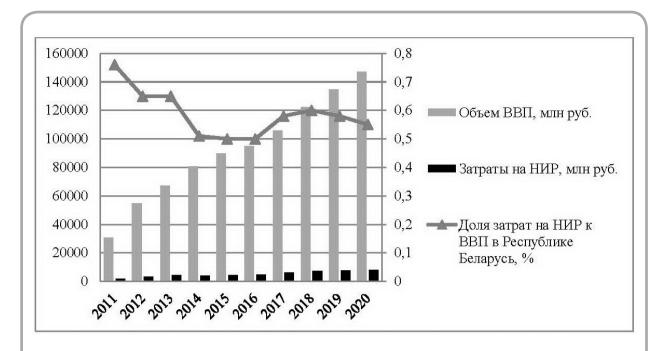


Рисунок 1 – Динамика объёма ВВП (ордината слева), затрат на научные исследования и разработки (НИР) (млн руб., с учётом деноминации) и доли затрат на НИР в % к ВВП (ордината справа) Республики Беларусь за 2011–2020 гг.

Таблица 1 – Темпы роста ВВП и затрат на НИР в Республике Беларусь за 2011–2020 гг.

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Темп роста ВВП, %	167	178	122	120	112	106	111	116	110	109
Темп роста затрат на НИР, %	183	170	124	93	110	106	130	120	105	104

изменений – на рисунке 2 (по данным [8, 12, 17]).

Обращает на себя внимание прямая зависимость динамик рассматриваемых показателей: при увеличении или снижении мирового ВВП наблюдается аналогичное изменение в ВВП и затратах на НИР в Республике Беларусь. Однако в 2020 г., несмотря на резкое падение объёмов мирового ВВП, в Беларуси снижение темпов по сравнению с 2019 г. было незначительным (0,01%) у обоих показателей (рисунок 2). Это говорит о том, что несмотря на тяжелые экономические условия, связанные с пандемией Covid-19, в 2020 г. белорусская экономика смогла удержать свои позиции.

Следует отметить, что в технологически развитых странах расходы предпринимательско-

го сектора на НИОКР (60-70 %) превосходят государственные затраты на ту же сферу [4]. В Беларуси пока сохраняется доля государственного сектора - 50 % от общих затрат в 2020 г. [8, 12], причём доля коммерческих организаций государственной формы занимает второе место (28 %), доля предпринимательского сектора – третье (12 %), учреждений высшего образования – четвёртое (6 %), а некоммерческих организаций - последнее (4 %). В структуре источников финансирования внутренних затрат на НИР в Республике Беларусь в 2020 г. наблюдается аналогичная картина: 51 % составляют государственные средства, 38 % – собственные средства, 10 % - средства иностранных инвесторов (включая иностранные кредиты и займы) и лишь

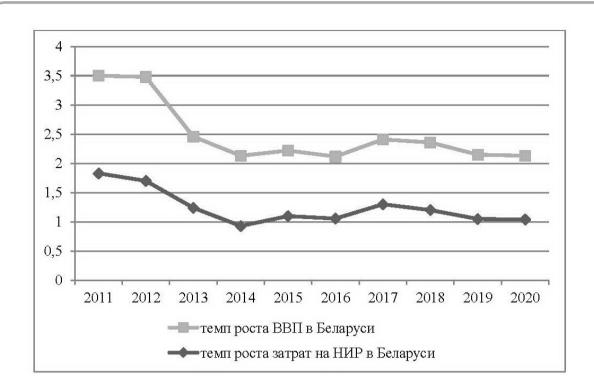


Рисунок 2 – Динамика прироста ВВП и затрат на НИР в Республике Беларусь по сравнению с динамикой прироста мирового ВВП в 2011–2020 гг., %

1 % – средства внебюджетных фондов.

Повышение инновационной активности организаций промышленности, доли экспорта наукоёмкой и высокотехнологичной продукции невозможно без развития кадровой составляющей. Интеллект работника, его творческие способности становятся в высокоразвитых странах основным ресурсом для создания и использования новых знаний и технологий [5]. Проанализируем инновационную активность в Республике Беларусь.

В 2020 г. в Республике Беларусь 451 организация занималась НИОКР (рисунок 3, данные из [3, 8, 12]). С 2012 по 2016 г. их количество сократилось на 99 единиц, а в 2017–2019 гг. незначительно выросло. При этом их доля в общем количестве организаций промышленности значительно снизилась: по сравнению с пиком в 2012 г. (4,06 %) в 2020 г. – до 2,79 %. Но самое низкое значение этого показателя наблюдалось в 2008 г. (2,59 %), несмотря на то, что количество исследовательских организаций увеличилось,

что в целом объясняется ростом общего количества предприятий.

Исходные данные по численности научных работников с учёными степенями представлены в таблице 2 (по данным в [3, 8, 12, 15]). Среди них численность старших научных сотрудников в 2020 г. составила 3280 человек (пятая часть всех исследователей) и достигла исторического минимума за период с 1997 г. При этом общая численность всех работников и специалистов, выполнявших НИОКР, включая вспомогательный персонал и научных сотрудников, в 2020 г. также достигла минимума – 25622 человек (рисунок 4, по данным в [3, 8, 12, 15]).

Несмотря на общую тенденцию уменьшения, доля остепенённых исследователей в общем количестве занятых научными исследованиями с 2014 г. выросла на 6 %, что связано с уменьшением количества вспомогательного персонала и исследователей, не имеющих учёных степеней.

При этом доля докторов наук в общем количестве занятых НИР (рисунок 5, данные из [3, 8,

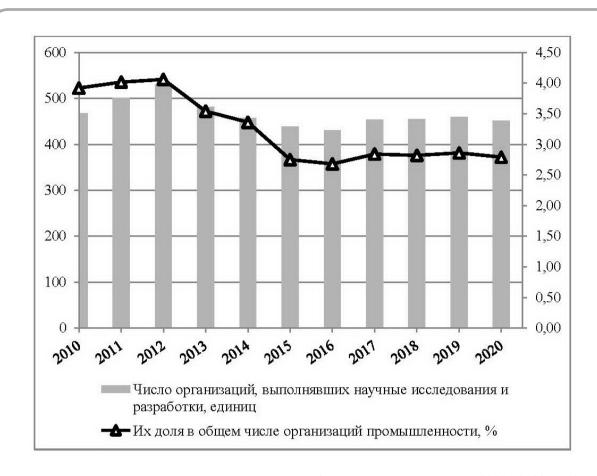


Рисунок 3 – Количество организаций, выполнявших НИОКР в Республике Беларусь в 2011 – 2020 гг., единиц

Таблица 2 – Числег	Таблица 2 – Численность исследователей, имеющих учёные степени												
Годы	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020			
Численность докторов наук	741	719	703	671	648	631	645	626	607	560			
Численность кандидатов наук	3150	3071	2946	2867	2822	2813	2850	2829	2803	2760			
Всего остепенённых исследователей	3891	3790	3649	3538	3470	3444	3495	3455	3410	3320			

12, 15]) незначительно увеличивалась в 2011–2015 гг. (в пределах 0,01–0,08 %), за исключением 2012 г., когда началась общая тенденция снижения количества занятых в НИР. Доля кандидатов наук в общем количестве работников в период 2017–2019 гг. снижалась, что свидетельствует об изменениях в структуре исследо-

вателей.

Структура персонала, занятого НИОКР, за 2015–2020 гг. практически неизменна [3, 8, 12, 15]: исследователи – 65,2 %, вспомогательный персонал – 28,3%, техники – 6,5 %. Численность женщин среди исследователей в 2020 г. составила 38 % (среди кандидатов наук – 41,4 %, среди

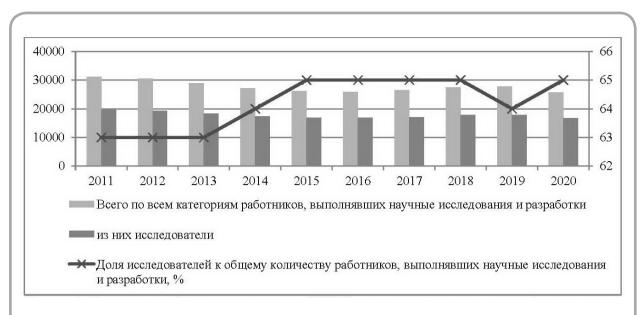


Рисунок 4 – Численность работников, выполнявших НИОКР, включая научных сотрудников (ордината слева, чел.), и доля исследователей (ордината справа)

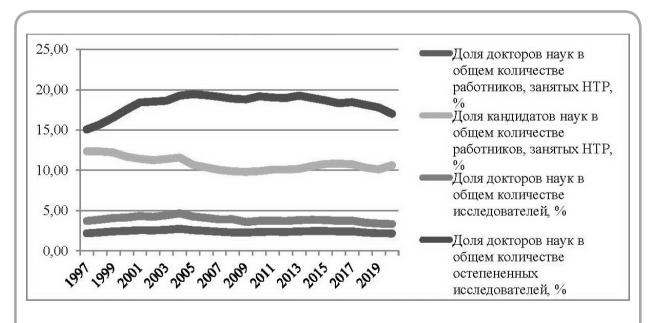


Рисунок 5 – Соотношение количества докторов, кандидатов наук с общей численностью работников, выполнявших НИОКР, в том числе среди исследователей, %

докторов наук – 21,5 %). По возрастной категории молодые исследователи в возрасте до 29 лет включительно составляют 21 % от общего количества исследователей. В профессиональной структуре научных кадров преобладают специалисты в области технических и естествен-

ных наук. В динамике 2011–2020 гг. данные по-казатели существенно не изменяются.

Количество учреждений высшего образования за 2011–2020 гг. (таблица 3, данные из [15]) уменьшилось на 5 вузов, в основном, частных, и связано это с сокращением числа абитуриентов.

Таблица 3 – Количество учреждений высшего образования в Республике Беларусь в 2011–2020 гг.

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Количество вузов	55	54	54	54	52	51	51	51	51	50

Таблица 4 – Количество поданных заявок на патентование изобретений, выданных и действующих патентов национальными и иностранными заявителями в Республике Беларусь в 2011–2020 гг.

Год	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Подано заявок на патентование изобретений, всего в том числе заявителями:	1871	1871	1634	757	691	521	524	547	393	394
национальными	1725	1681	1489	652	543	455	434	454	298	317
иностранными	146	190	145	105	148	66	90	93	95	77
Выдано патентов на изобретения, всего	1474	1291	1117	980	902	941	850	625	461	447
национальных	1365	1186	1027	887	803	892	772	524	388	386
иностранных	109	105	90	93	99	49	78	101	73	61
Действует патентов	8642	4694	4478	3913	2858	2735	2414	2135	1813	1752

Видимо, такое количество является для республики оптимальным.

Результативность исследований и разработок измеряют количеством запатентованных изобретений. В таблице 4 представлены данные по количеству поданных заявок на патентование изобретений, выданных и действующих патентов как иностранными, так и национальными заявителями за 2011–2020 гг. [8, 12].

Как видно из таблицы 4, и количество поданных заявок, и выданных патентов в рассматриваемый период снижается. Количество подаваемых заявок на патентование изобретений в 2011 г. было в 4,7 раза выше, чем в 2020 г., при этом национальными заявителями – в 5,4 раза выше, а иностранными – в 1,9. Выданных патентов в 2011 г. также было больше (в 3,3 раза), чем в 2020 г., при этом национальных патентов – в 3,5, а иностранных в 1,8 раз больше. Количество действующих патентов также снизилось почти в 5 раз. В целом за период 2011–2020 гг. все рассматриваемые показатели снижались на 13 %.

Таким образом, данное исследование показало следующее:

- 1. Уровень интеллектуального капитала по показателям научного, научно-технического и инновационного потенциалов страны в последние годы снижается, тем самым отдаляясь от запланированных в нормативно-правовых актах показателей. Общеизвестно, что увеличение затрат на научные исследования и разработки ведет к росту эффективности и результативности данных исследований и тем самым увеличивает ВВП, а также позволяет создать условия для развития человеческого капитала внутри страны [1, 18–20].
- 2. С целью более точного анализа следует провести оценку влияния интеллектуального капитала на темпы экономического роста Республики Беларусь, что позволит выяснить, какие показатели в большей степени влияют на рост ВВП страны и в дальнейшем повлиять на их значение.
- 3. В этой связи требуется выработка новых подходов к созданию научно-технической (организационной) основы экономики. А именно базы

для новых исследований и разработок в виде четкого алгоритма подачи информации, ранее изученной другими исследователями, что предполагает наличие конкретных инструкций для новых исследователей, в какой последовательности и какие действия нужно предпринимать, чтобы максимально быстро получить результат.

Целесообразным для увеличения интеллектуального капитала в Республике Беларусь автор считает разработку Стратегии развития интеллектуального капитала на 5–10 лет, где пошагово по годам распределить меры по активизации роста количества затрат на научные исследования и разработки, числа организаций, занимающимися НИР, и систему поощрения исследователей за успешный результат, тем самым заинтересовать их углублять свои знания через исследования в аспирантуре и докторантуре.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Tyutyunnik, V. M., Musikhina, A. Yu. (2011), The role of knowledge in the intellectual capital of information society, *Science Prospects*, № 6 (21), pp. 202–211.
- 2. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2020), Беларусь в цифрах: стат. справочник.
- 3. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2020), Беларусь и страны мира: стат. сборник.
- 4. Вахабова, Д. Х. (2017), Оценка влияния интеллектуального капитала на экономический рост, *Человеческий капитал и профессиональное образование*, 1(21), С. 10–16.
- 5. Головчанская, Е. Э., Стрельченя, Е. И., Петренко Е. С. (2018), Оценка влияния интеллектуального ресурса на экономический рост, *Креативная экономика*, 12(10), С. 1599–1618.

REFERENCES

- 1. Tyutyunnik, V. M., Musikhina, A. Yu. (2011), The role of knowledge in the intellectual capital of information society, *Science Prospects*, № 6(21), pp. 202–211.
- 2. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' (2020), Belarus in numbers: stat. guide [Belarus' v cifrah: stat. Spravochnik].
- 3. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' (2020), Belarus and the countries of the world: stat. collection [Belarus' i strany mira: stat. sbornik].
- 4. Vahabova, D. H. (2017), Assessment of the impact of intellectual capital on economic growth [Ocenka vliyaniya intellektual'nogo kapitala na ekonomicheskij rost], *Chelovecheskij kapital i professional'noe obrazovanie Human capital and vocational education*, 1(21), pp. 10–16.
- 5. Golovchanskaya, E. E., Strel'chenya, E. I., Petrenko, E. S. (2018), Assessment of the impact of an intellectual resource on economic growth

- 6. Коржак, В. А. (2021), Развитие экономики на основе управления интеллектуальным капиталом, Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки и техники. Инноватика», С.73–77.
- 7. Левченко, Л. В., Карпенко, О. А. (2016), Интеллектуальный капитал в макроэкономике, *Вопросы экономики и права*, (97), С. 27–31.
- 8. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2020), Наука и инновационная деятельность в Республике Беларусь: стат. сб.
- 9. Официальный сайт Министерства экономики Республики Беларусь. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь на период до 2035 года [Электронный ресурс] Режим доступа: https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/Kontseptsijana-sajt.pdf, дата доступа: 05.02.2022.
- 10. Нехорошева, Л. Н. (2020), Экономика организации (предприятия): учеб. пособие, БГЭУ, 687 с.
- 11. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. О Государственной программе инновационного развития Республики Беларусь на 2016−2020 годы: Указ Президента Респ. Беларусь от 15 сентября 2021 г. № 348 [Электронный ресурс] Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&-p0=P32100348, дата доступа: 05.02.2022.
- 12. Национальный статистический комитет Республики Беларусь (2020), О научной и инновационной деятельности в Республике Беларусь в 2012 г., 2016 г., 2020 г.: стат. бюллетень.
- 13. Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства: Директива № 3 от 14 июня 2007 г. (в ред. Указа № 26 от 26 янв. 2016 г.) [Электронный ресурс] Режим досту-

- [Ocenka vliyaniya intellektual'nogo resursa na ekonomicheskij rost], *Kreativnaya ekonomika Creative economy*, 12(10), pp. 1599–1618.
- 6. Korzhak, V. A. (2021), Economic development based on intellectual capital management [Razvitie ekonomiki na osnove upravleniya intellektual'nym kapitalom], Sbornik nauchnyh statej po materialam VI Mezhdunarodnoj nauchnoprakticheskoj konferencii «Aktual'nye problemy nauki i tekhniki. Innovatika», pp. 73–77.
- 7. Levchenko, L. V., Karpenko, O. A. (2016), Intellectual capital in macroeconomics [Intellektual'nyj kapital v makroekonomike], *Voprosy ekonomiki i prava Economic and legal issues*, (97), pp. 27–31.
- 8. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' (2020), Science and innovation in the Republic of Belarus: stat. col. [Nauka i innovacionnaya deyatel'nost' v Respublike Belarus': stat. sb.].
- Oficial'nyj sajt Ministerstva ekonomiki Respubliki Belarus'. National Strategy of Sustainable Development of the Republic of Belarus for the period up to 2035 [Nacional'naya strategiya ustojchivogo razvitiya Respubliki Belarus' na period do 2035 goda]. Access mode: https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/ Kontseptsija-na-sajt.pdf (accessed February 5, 2022).
- 10. Nekhorosheva, L. N. (2020), *Ekonomika organizacii (predpriyatiya): ucheb. posobie* [Economics of the organization (enterprise): study guide], BSEU, 687 p.
- 11. Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. On the State Program of Innovative Development of the Republic of Belarus for 2016–2020: Decree of the President of the Republic of Belarus. Belarus № 348 dated September 15, 2021 [O Gosudarstvennoj programme innovacionnogo razvitiya Respubliki Belarus' na 2016–2020 gody: Ukaz Prezidenta

- па: https://pravo.by/document/?guid=3871&-p0=P00700003, дата доступа: 05.02.2022.
- 14. Национальный правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. Об утверждении Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы: Указ Президента Респ. Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292 [Электронный ресурс] Режим доступа: https://pravo.by/document/?guid=3871&-p0=P32100292, дата доступа: 05.02.2022.
- 15. Министерство финансов Республики Беларусь. Социальная сфера Республики Беларусь в цифрах 2021г.: справ. м-лы [Электронный ресурс] Режим доступа: https://minfin.gov.by/upload/add/centers_supporting/brochure.pdf, дата доступа: 12.02.2022.
- 16. Официальный сайт Нац. Академии наук Беларуси. Стратегия «Наука и технологии: 2018–2040» : Постан. Презид. Нац. Ак. Наук Беларуси от 26.02.2018 №17 [Электронный ресурс] Режим доступа: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf, дата доступа: 05.02.2022.
- 17. Макротренды ведущая исследовательская платформа для долгосрочных инвесторов. Темпы роста мирового ВВП в 1961–2021 гг. [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/qdp-growth-rate, дата доступа: 12.02.2022
- 18. Тютюнник, В. М. (2007), Научные исследования и технологии образовательных процессов в университетах, *Фундаментальные исследования*, (9), С. 110–112.
- 19. Тютюнник, В. М. (2011), Система образования и научных исследований в университетах, *Перспективы науки*, 2(17), С. 5–11.
- 20. Тютюнник, В. М. (2012), Структура интеллектуального капитала российского вуза, *Глобальный научный потенциал*, 4(13), С. 48–58.

- Resp. Belarus' ot 15 sentyabrya 2021 g. Nº 348]. Access mode: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100348 (accessed February 5, 2022).
- 12. Nacional'nyj statisticheskij komitet Respubliki Belarus' (2020), On scientific and innovative activity in the Republic of Belarus in 2012, 2016, 2020: stat. bulletin. [O nauchnoj i innovacionnoj deyatel'nosti v Respublike Belarus' v 2012 g., 2016 g., 2020 g.: stat. byulleten'].
- 13. Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. On the priority directions of strengthening the economic security of the state: Directive № 3 of June 14, 2007 (as amended Decree № 26 of January 26, 2016) [O prioritetnyh napravleniyah ukrepleniya ekonomicheskoj bezopasnosti gosudarstva: Direktiva № 3 ot 14 iyunya 2007 g. (v red. Ukaza № 26 ot 26 yanv. 2016 g.)] Access mode: https://pravo.by/document/?guid=3871&-p0=P00700003 (accessed February 5, 2022).
- 14. Nacional'nyj pravovoj Internet-portal Respubliki Belarus'. On the approval of the Program of socio-economic development of the Republic of Belarus for 2021–2025: Decree of the President of the Republic of Belarus. Belarus № 292 dated July 29, 2021 [Ob utverzhdenii Programmy social'no-ekonomicheskogo razvitiya Respubliki Belarus' na 2021–2025 gody: Ukaz Prezidenta Resp. Belarus' ot 29 iyulya 2021 g. № 292]. Access mode: https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292 (accessed February 5, 2022).
- 15. Ministerstvo finansov Respubliki Belarus'. The social sphere of the Republic of Belarus in figures of 2021: reference m-ly [Social'naya sfera Respubliki Belarus' v cifrah 2021g.: sprav. m-ly]. Access mode: https://minfin.gov.by/upload/add/centers_supporting/brochure.pdf (accessed February 12, 2022).
- 16. Oficial'nyj sajt Nac. Akademii nauk Belarusi. Strategy "Science and Technology: 2018–2040":

Postan. President of the National Academy of Sciences of Belarus Nº 17 dated 26.02.2018 [Strategiya «Nauka i tekhnologii: 2018–2040»: Postan. Prezid. Nac. Ak. Nauk Belarusi ot 26.02.2018 Nº 17]. Access mode: https://nasb.gov.by/congress2/strategy_2018-2040.pdf (accessed February 12, 2022).

- 17. Makrotrendy vedushchaya issledovatel'skaya platforma dlya dolgosrochnyh investorov. World GDP Growth Rate 1961–2021 [Tempy rosta mirovogo VVP v 1961–2021 gg.] Access mode: https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/gdp-growth-rate (accessed February 12, 2022).
- 18. Tyutyunnik, V. M. (2007), Scientific research and technologies of educational processes at universities [Nauchnye issledovaniya i tekhnologii obrazovatel'nyh processov v universitetah], Fundamental'nye issledovaniya Fundamental research, (9), pp. 110–112.
- 19. Tyutyunnik, V. M. (2011), System of education and scientific research in universities [Sistema obrazovaniya i nauchnyh issledovanij v universitetah], *Perspektivy nauki Prospects of science*, 2(17), pp. 5–11.
- 20. Tyutyunnik, V. M., Musihina, A. Yu. (2012), The structure of the intellectual capital of the Russian university [Struktura intellektual'nogo kapi-tala rossijskogo vuza], *Global'nyj nauchnyj potencial Global scientific potential*, 4(13), pp. 48–58.

Статья поступила в редакцию 17. 05. 2022 г.

ВЛИЯНИЕ СТАРЕНИЯ РАБОЧЕЙ СИЛЫ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКОНОМИКИ

INFLUENCE OF WORKFORCE AGING ON THE PRODUCTIVITY OF ECONOMY

УДК 331.108.2

Я. Кудиньш¹*, В. Комарова¹, Э. Чижо¹, А. Кокаревича²

- 1 Даугавпилсский университет
- ² Рижский университет имени Страдыня

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-181-196

J. Kudins¹*, V. Komarova¹, E. Cizo¹,

A. Kokarevica²

- ¹ Daugavpils University
- ² Riga Stradinsh University

РЕФЕРАТ

СТАРЕНИЕ РАБОЧЕЙ СИЛЫ, РАБОТНИКИ СТАРШЕГО ВОЗРАСТА, ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ЭКОНОМИКИ, СПЕЦИФИЧЕСКИЙ ЧЕЛОВЕ-ЧЕСКИЙ КАПИТАЛ. ЭНДОГЕННЫЙ РОСТ

Цель данного исследования – эмпирическое подтверждение гипотезы о том, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется факторами, характеризующими уровень развития территории.

Научное и практическое значение данного исследования состоит во вкладе авторов в научно обоснованное эмпирическое изучение влияния старения рабочей силы, обусловленного повышением пенсионного возраста, на производительность экономики в странах современного мира.

Методика эмпирического анализа. Теоретические предпосылки и методология данного исследования опираются на концепцию специфического человеческого капитала Г. Беккера и концепции эндогенного роста с её акцентом на развитии технологий. Авторы используют несколько методов количественного анализа данных: корреляционный анализ, регрессионный анализ и кластерный анализ – с целью выявления не только корреляционного параллелизма, но и причинно-следственных связей между переменными, включёнными в доказательство гипотезы исследования.

Источники эмпирической информации. Авторы использовали по возможности новейшую статистику Всемирной организации здравоохранения и других международных организаций,

ABSTRACT

WORKFORCE AGING, OLDER WORKERS, PRO-DUCTIVITY OF ECONOMY, SPECIFIC HUMAN CAPITAL, ENDOGENOUS GROWTH

This study is aimed to empirically prove the hypothesis that currently the influence of workforce aging on the productivity of economy is determined by factors characterizing the level of territory development.

The scientific and practical significance of this study is the contribution of the authors to a scientifically based empirical investigation of the influence of workforce aging (due to raising the retirement age) on the productivity of economy in the countries of the modern world.

Methods of the empirical analysis. The theoretical background and methodology of this study are based on the concept of specific human capital by G. Becker and the conception of endogenous growth with its emphasis on technology development. The authors use several methods of quantitative data analysis: correlation analysis, regression analysis and cluster analysis in order to identify not only correlational parallelism, but also causal relationships between the variables included in the proof of the research hypothesis.

Sources of empirical information. The authors used, whenever possible, the latest statistics from the World Health Organization, Trading Economics and PwC Global, as well as data from the report on the Global Talent Competitiveness Index for 63 countries. These countries represent different continents and have different levels of socio-economic development.

^{*} E-mail: *janis.kudins@du.lv* (J. Kudins)

а также данные отчёта об Индексе глобальной конкурентоспособности по таланту для 63 стран мира, представляющим разные континенты и имеющим разный уровень социально-экономического развития.

Результаты проведённого эмпирического анализа показывают, что в странах современного мира технологическая готовность вкупе с высоким уровнем непрерывного обучения являются теми причинами-катализаторами, которые обеспечивают стимулирующее влияние повышения пенсионного возраста (объективно приводящего к старению рабочей силы) на производительность экономики. Авторы также пришли к выводу о том, что повышение пенсионного возраста в стране без учёта вышеупомянутых факторов не способствует эффективному использованию экономического потенциала работников старшего возраста.

The results of the conducted empirical analysis show that in the countries of the modern world, technological readiness, coupled with a high level of lifelong learning, are the catalysts that provide a stimulating effect of raising the retirement age (objectively leading to workforce aging) on the productivity of economy. The authors also concluded that raising the retirement age in the country, without considering the above factors, does not contribute to the effective use of the economic potential of older workers.

ВВЕДЕНИЕ

Наряду с широко известным современным явлением старения населения, экономистов беспокоит также и сдвиг в возрастном составе рабочей силы в сторону увеличения доли работников старшего возраста, то есть явление, которое исследователи называют старением рабочей силы (англ. workforce aging) [2]. В большинстве развитых стран в последние годы средний возраст рабочей силы быстро растёт [24], и ожидается, что доля работников старшего возраста в европейской рабочей силе существенно возрастёт в течение последующих нескольких десятилетий [2, 16]. В частности, в ходе своего предыдущего исследования один из авторов данной статьи выяснил, что за последние 10 лет в Латвии наблюдался стремительный – почти в 2 раза – рост занятости в возрастной группе 65 лет и старше, что количественно соответствует общей тенденции, характерной для ЕС [30]. В связи с этим в исследовательском пространстве актуальна дискуссия об экономической значимости работников старшего возраста [13, 14, 18, 35, 46, 49 и другие).

С одной стороны, в научной литературе в рамках эйджизма (англ. ageism), то есть дискриминации работников по возрасту, присутствуют –

и даже преобладают – мнения, которые указывают на неоправданное признание работников старшего возраста необходимыми для экономики по причине их низкой производительности по сравнению с более молодыми работниками [4, 27]. В более широком социально-экономическом контексте эйджизм рассматривается, как проявление современной теории модернизации на макроуровне. Суть аргументации заключается в том, что эйджизм усиливается по мере возрастания модернизации общества, а социальная политика и методы управления, появившиеся вместе с индустриализацией, в последние десятилетия теряют свою эффективность [22].

Результаты многих исследований показывают, что знания, навыки и опыт пожилых людей недостаточно используются в экономике [19, 24, 37]. В 2018 году Медицинский журнал Новой Англии (англ. The New England Journal of Medicine) опубликовал материал, в котором сообщается, что результаты широкомасштабного исследования, проведённого в США, показали, что самый производительный возраст в жизни человека – 60–70 лет. Второй наиболее производительный этап человеческой жизни – от 70 до 80 лет, а третий – от 50 до 60 лет [19]. Распространённость эйджизма приводит к ухудшению обществен-

ного здоровья, социальной изоляции пожилых людей, их ранней смерти и стоит экономике миллиарды долларов. Так, в докладе Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) «Эйджизм – это глобальная проблема: ООН» (англ. Ageism ia a Global Challenge: UN) содержится призыв к незамедлительным действиям по реализации эффективных стратегий борьбы с дискриминацией работников по возрасту [51].

Помимо вышеупомянутых крайних позиций, в научной литературе встречаются также и компромиссные позиции по отношению к экономической значимости работников старшего возраста в плане их производительности. К примеру, В. Скирбекк (V. Skirbekk) в своём исследовании, основанном на обзоре литературы о взаимосвязи возраста с индивидуальной производительностью, пришёл к выводу о том, что снижение умственных способностей работников старшего возраста может привести к снижению производительности, если только их большой опыт и более высокий уровень профессиональных знаний не перевешивают вышеназванное снижение умственных способностей [46]. Он также обнаружил, что снижение производительности в старшем возрасте особенно сильно проявляется при выполнении рабочих задач, требующих решения проблем, обучения и скорости, в то время как на тех работах, где важны опыт и вербальные способности, сотрудники старшего возраста сохраняют относительно высокий уровень производительности [46].

Результаты некоторых исследований указывают также на пространственные различия в профессиональном потенциале работников разных возрастных групп. Например, исследователи П. Боринг (P. Boring) и Дж.Б. Грогаард (J.B. Grogaard) изучали взаимосвязь между возрастом сотрудников и их индивидуальным потенциалом производительности (ИПП). ИПП измеряется индивидуальными характеристиками, связанными с использованием профессиональных навыков на работе. Используя данные Программы международной оценки компетенций взрослых (англ. Programme for the International Assessment of Adult Competencies, PIAAC) для 27 европейских и неевропейских стран, они обнаружили, что в 17 из 27 стран работники самой старшей возрастной группы имеют более низкий балл по ИПП

в сравнении с работниками среднего возраста [13]. На основании этих результатов авторы данного исследования выдвигают гипотезу о том, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется, помимо характеристик самих работников старшего возраста, также и факторами, характеризующими уровень развития территории (страны, региона и т.д.).

В рамках данного исследования производительность, как целевая функция, зависящая (или не зависящая – как покажут результаты исследования) от старения рабочей силы, будет рассматриваться не на индивидуальном уровне работников, а на макроэкономическом уровне, то есть на уровне производительности экономики в целом, как это делали в своих исследованиях многие экономисты-регионалисты [20, 29, 38, 39]. Методологически авторы будут рассматривать макроэкономический аспект производительности на основе теории человеческого капитала, акцентирующей его влияние как на экономический рост в целом [5, 10, 34, 40, 41, 42], так и на производительность экономики и работающих в ней фирм [1, 3, 15, 17, 25, 26].

В качестве источников эмпирических данных для доказательства гипотезы данного исследования авторы используют по возможности новейшую статистику Всемирной организации здравоохранения (англ. World Health Organization) [50], организаций Trading Economics [48] и PwC Global [36], а также данные отчёта об Индексе глобальной конкурентоспособности по таланту (англ. Global Talent Competitiveness Index) [31] по 63 странам мира, представляющим разные континенты и имеющим разный уровень социально-экономического развития. Относительно небольшой размер выборки и отсутствие диахронного анализа являются основными ограничениями данного исследования, снижающими стабильность полученных результатов. В качестве компенсации вышеназванных ограничений авторы используют сразу несколько методов количественного анализа данных - корреляционный анализ, регрессионный анализ и кластерный анализ – с целью обнаружения не только корреляционного параллелизма, но и причинноследственных связей [28] между анализируемыми переменными.

Теоретическое и эмпирическое обоснование исследования

Большое количество данных подтверждает мнение о том, что на определённом этапе жизни умственные способности работающих людей снижаются. Так, исследователи П. Верхаген (P. Verhaegen) и Т.А. Сотхаус (T.A. Salthouse) (1997) провели метаанализ 91 исследования, в которых изучалось, как умственные способности работающих людей развиваются на протяжении их жизни. На основании анализа результатов этих исследований они пришли к выводу о том, что такие умственные способности, как мышление, скорость и эпизодическая память, значительно снижаются к 50 годам и продолжают снижаться в дальнейшем [49]. Тем не менее в отношении работников старшего возраста некоторые исследователи отмечают широкое распространение стереотипа о том, что работники старшего возраста менее производительны: «приводимые в литературе аргументы состоят в том, что их физические способности снижаются в целом, а умственные - по крайней мере в некоторых областях» [7, с. 3].

Интересное социологическое исследование экономического потенциала работников старшего возраста провели латвийские исследователи [35]. Они установили, что «работники старшего возраста полагают, что у них гораздо больше опыта, чем у молодых, но меньше навыков работы с новыми технологиями. В свою очередь, работодатели также ценят опыт работников старшего возраста, их надёжность и способность принимать самостоятельные решения. В то же время такие качества, как открытость к новым идеям, работа с новыми технологиями и креативность, по мнению работодателей, менее распространены среди работников в возрасте 50 лет и старше по сравнению с более молодыми работниками» [35, с. 68].

Ещё в 1960-х годах экономисты Т. Шульц (Т. Schultz) и Г. Беккер (G. Becker) указывали на то, что образование и обучение являются инвестициями в человеческий капитал, способными повысить производительность [8, 43]. В дальнейшем на протяжении всей своей жизни Г. Беккер, ставший в 1992 году Нобелевским лауреатом по экономике, со своими коллегами активно продолжал экономические исследования че-

ловеческого капитала [9, 10, 11, 12]. Наиболее необходимым для методологии данного исследования является предложенное им разделение понятий «общий человеческий капитал» (англ. general human capital) и «специфический человеческий капитал» (англ. specific human capital) [9]. По мнению Г. Беккера, общий человеческий капитал, как правило, создаётся особыми «фирмами» (школами, колледжами), а специфический человеческий капитал формируется непосредственно на рабочих местах. Концепт специфического человеческого капитала помогает понять, почему работники с большим стажем работы на одном месте реже меняют место работы, и почему заполнение вакансий происходит в фирмах преимущественно путём внутренних передвижений по службе, а не путём найма на внешнем рынке [10, 12]. Таким образом, специфический человеческий капитал по Г. Беккеру, накопленный в течение длительной профессиональной деятельности (и даже не обязательно в рамках одной фирмы или организации, а в целом - на рынке труда), теоретически можно считать детерминантом экономической значимости работников старшего возраста в аспекте их производительности.

И.Дж. Дири (I.J. Deary) и его коллеги провели обзор исследований, посвящённых оценке возрастных различий в производительности с точки зрения работодателей и наёмных работников [21]. Они пришли к выводу о том, что в 5 из 7 исследований был представлен перевёрнутый U-образный профиль производительности, где работники в возрасте от 30 до 40 лет имеют самый высокий уровень производительности. Далее установлено, что работники старше 50 лет имеют более низкую производительность, чем работники, не достигшие этого возраста, - несмотря на более высокий уровень заработной платы. Исключением являются результаты исследования Дж.К. Хеллерштейна (J.K. Hellerstein) и Д. Ньюмарка (D. Neumark), которые при изучении израильских производственных фирм установили, что производительность увеличивается в течение жизни [25]. Точно так же в ходе изучения американских фирм Дж.К. Хеллерштейн, Д. Ньюмарк и К. Троске (K. Troske) установили, что сотрудники старше 55 лет вносят наибольший вклад в общий объём производства фирмы.

Однако они обнаружили, что, если использовать в качестве показателя производительности добавленную стоимость, а не общий объём производства фирмы, то пик производительности приходится на 35–54-летних сотрудников [26]. А.Р. Кардозо (А.R. Cardoso) и П. Гимарайес (Р. Guimaraes), используя панельные данные по португальским фирмам частного сектора за период более 20 лет, пришли к выводу о том, что сотрудники старшего возраста на самом деле достойны своей оплаты в том смысле, что их вклад в производительность на уровне фирмы превышает их долю в фонде заработной платы [15].

Упоминание в результатах вышеназванных исследований о высокотехнологичном Израиле, в котором производительность увеличивается в течение жизни [25], а также о США и Португалии даёт авторам основание предполагать, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется, помимо характеристик самих работников старшего возраста, также и факторами, характеризующими уровень развития страны

как таковой. И, скорее всего, эти факторы относятся к развитию технологий, непрерывного обучения (англ. lifelong learning) и т.п.

В специальном Отчёте о глобальной конкурентоспособности, изданном Всемирным экономическим форумом в 2020 году, рассчитывается (к сожалению, лишь для 37 стран мира) очень интересный показатель – готовность к трансформации (англ. transformation readiness) [45]. Показатель готовности стран к трансформации оценивает, в какой степени эти страны на данный момент приблизились к трансформации своих экономик» [45, с. 44]. В сочетании с другими характеристиками стран (производительность, непрерывное обучение), а также показателями, характеризующими старение рабочей силы, получаются результаты, ещё не доказывающие, но свидетельствующие в пользу гипотезы данного исследования. В таблице 1 представлены результаты сравнения данных по нескольким показателям, характеризующим старение рабочей силы и производительность экономики в странах с наиболее высокими и наиболее низкими показателями готовности к трансформации.

Таблица 1 – Несколько показателей, характеризующих старение рабочей силы и производительность экономики в странах с наиболее высокими и наиболее низкими показателями готовности к трансформации

Страны	Готовность к трансформа- ции, баллы от 0 до 100, 2020	Непрерыв- ное обуче- ние, баллы от 0 до 100, 2021	Производи- тельность экономики* – ВВП на душу населения (ППП), тыс. долларов США, 2020	Пенсионный возраст для мужчин, годы, 2020-2021	Средняя продолжи- тельность жизни муж- чин после выхода на пенсию, годы, 2020	% занятых в возрасте 65+ в общем объёме занятости, 2015			
	3 страны с наи	более высоким	и показателями	готовности к тр	ансформации				
Финляндия	69.9	71.4	51.1	63.8	15.5	14.1			
Швеция	68.5	77.8	54.6	62.0	18,8	21.9			
Дания	66.5	70.6	60.4	66.5	13.1	15.3			
	3 страны с наиболее низкими показателями готовности к трансформации								
Венгрия	48.1	37.6	33.1	64.5	8.6	4.6			
Греция	47.2	24.2	28.5	67.0	11.6	7.9			
Мексика	46.9	40.6	18.8	65.0	8.1	38.1			

Примечание: * – в научной литературе производительность на макроэкономическом уровне обычно измеряется с помощью валового внутреннего продукта (ВВП) на душу населения [20, 38, 39]. Источник: составлено авторами на основе данных [31, 36, 48, 45, 50].

Как видно из данных таблицы 1, три страны с наиболее высокими показателями готовности к трансформации достаточно сильно отличаются от трёх стран с наиболее низкими показателями готовности к трансформации не только по самому этому показателю, но и по всем остальным приведённым в таблице показателям. Так, в странах с наиболее высокими показателями готовности к трансформации очевидно более высокими являются также и показатели непрерывного обучения, производительности экономики, удельный вес занятых в возрасте 65+ в общем объёме занятости (за исключением Мексики), средняя продолжительность жизни мужчин после выхода на пенсию (свидетельствующая о состоянии здоровья выходящей на пенсию рабочей силы). Единственное, что в странах-лидерах показатель «готовность к трансформации» не является более высоким по сравнению с тремя странами с наиболее низкими показателями готовности к трансформации, - это пенсионный возраст для мужчин (за исключением Дании с относительно высоким пенсионным возрастом). Похоже, что в современном мире повышение пенсионного возраста в той или иной стране должно сопровождаться ещё и, как минимум, соответствующей продолжительностью жизни населения этой страны, а также высокими показателями непрерывного обучения и готовности к трансформации, - только тогда работники старшего возраста смогут быть экономически полезными и повышать производительность экономики своей страны.

Таким образом, на основании анализа соответствующей научной литературы, а также некоторых эмпирических данных, позволяющих сформировать представление о влиянии старения рабочей силы на производительность экономики, авторы предполагают, что в современном мире ситуация с экономической значимостью работников старшего возраста неоднозначна в том смысле, что, вероятнее всего, для наиболее полной экономической реализации специфического человеческого капитала (по Г. Беккеру) работников старшего возраста требуются ещё и некоторые условия образовательного и технологического плана, а не простое повышение пенсионного возраста при сохранении относительно низкой продолжительности жизни населения и трансформационного потенциала страны. Далее авторы попытаются эмпирически доказать это на выборке из 63 стран мира с применением сразу нескольких методов количественного анализа данных.

Методология исследования

В основе методологии данного исследования лежит теория человеческого капитала – классическое исследование Г. Беккера, результаты которого доказывают, что инвестиции в образование и обучение человека подобны инвестициям предпринимателя в оборудование [9, 10, 12], а также теория долгосрочного роста (англ. the theory of long-run growth) [5, 6, 40, 41, 42]. Основными постулатами теории человеческого капитала и теории долгосрочного роста, которые авторы используют для концептуального понимания влияния старения рабочей силы на производительность экономики, являются следующие:

- работники старшего возраста могут увеличивать свой производственный потенциал за счет повышения уровня образования и профессиональной подготовки;
- производительность экономики в долгосрочном периоде растёт благодаря инвестициям в обучение на рабочем месте.

Таким образом, теория человеческого капитала и теория долгосрочного роста указывают на непрерывное обучение, как на один из наиболее значимых факторов, детерминирующих влияние старения рабочей силы на производительность экономики. Отчёт об Индексе глобальной конкурентоспособности по таланту предоставляет эмпирические данные по показателю непрерывного обучения в странах современного мира [31].

Ещё одним значимым фактором, потенциально детерминирующим влияние старения рабочей силы на производительность экономики, является более продолжительная трудовая жизнь, которая, согласно результатам исследования организации PwC Global, позволила бы глобальной экономике получить дополнительную прибыль в размере 3.5 трлн долларов США [37]. В рамках данного исследования авторы используют показатель ожидаемой продолжительности жизни при рождении (англ. life expectancy at birth) в странах мира [50], как характеристику, напрямую определяющую саму возможность более

продолжительной трудовой жизни в той или иной стране. Как показали данные таблицы 1, в странах с относительно более высокой производительностью экономики показатель средней продолжительности жизни мужчин после выхода на пенсию, свидетельствующий о состоянии здоровья выходящей на пенсию рабочей силы, во всех сравниваемых случаях выше (иногда в 2 раза), чем в странах с относительно низкой производительностью экономики.

И, наконец, последний значимый фактор, потенциально детерминирующий влияние старения рабочей силы на производительность экономики, предлагается в рамках концепции эндогенного роста (англ. endogenous growth) [23, 40], делающей акцент на технологиях и занятости в наукоёмких отраслях и обосновывающей значимость инвестиций в человеческий капитал. Эти инвестиции обладают эффектом мультипликативного позитивного влияния на экономику и замедляют падение отдачи от накопленного капитала путём стимулирования инновационной деятельности людей и продления их трудовой жизни. В рамках данного исследования авторы используют показатель технологической готовности (англ. technological readiness) стран мира, рассчитываемый Всемирным экономическим форумом в Отчёте о глобальной конкурентоспособности (англ. Global Competitiveness Report) [44]. И хотя последний раз этот показатель рассчитывался в 2017 году [44], авторы считают его пригодным для данного исследования, поскольку даже если и сама по себе технологическая готовность стран мира за это время изменилась (скорее всего, в сторону увеличения), то соотношение технологической готовности между странами вряд ли изменилось настолько, чтобы исказить данные количественного анализа, т.е., к примеру, США по-прежнему намного более технологически развиты, чем Латвия (а именно это и необходимо знать авторам для эмпирического доказательства гипотезы данного исследования).

Основными понятиями данного исследования, взаимосвязь между которыми необходимо эмпирически изучить, являются «старение рабочей силы» и «производительность экономики». И здесь появляются две методологические задачи: эмпирическая интерпретация этих понятий

и обнаружение причинно-следственных связей между ними. Для эмпирической интерпретации производительности экономики авторы используют опыт исследований, в которых производительность на макроэкономическом уровне эмпирически интерпретируется и измеряется с помощью валового внутреннего продукта (ВВП), то есть суммарной стоимости продуктов и услуг, произведённых в течение года, на душу населения (что учитывает разницу между территориями по количеству населения) в той или иной стране или регионе [20, 38, 39]. В свою очередь, для эмпирической интерпретации старения рабочей силы авторы используют показатель пенсионного возраста (в данном исследовании – только для мужчин) [48], повышение которого объективно приводит к старению рабочей силы.

Тогда влияние старения рабочей силы на производительность экономики будет эмпирически доказано в том случае, если авторам удастся обнаружить не только корреляционный параллелизм, но и причинно-следственные связи между пенсионным возрастом и ВВП на душу населения в 63 странах мира, составляющих объект данного исследования. Поскольку зачастую очень сложно доказать именно причинно-следственную связь на основании количественных корреляций, то можно либо предположить, что корреляция указывает на причинно-следственную связь (что рискованно) [28], либо попытаться продемонстрировать причинно-следственную связь, применив дополнительные методы количественного анализа данных (что и сделают авторы данного исследования).

Авторы начнут анализ данных с расчёта корреляции – как полной, так и частичной (англ. partial correlation) – между показателями пенсионного возраста и ВВП на душу населения, при этом в ходе расчёта частичной корреляции будет заблокировано действие трёх факторов, потенциально детерминирующих влияние старения рабочей силы на производительность экономики: непрерывное обучение, средняя продолжительность жизни при рождении и технологическая готовность в странах мира. Далее авторы применят дополнительные методы количественного анализа данных – линейную регрессию (англ. linear regression) с пошаговым методом (англ. stepwise method) включения переменных

и кластерный анализ (англ. cluster analysis) – с целью подтверждения именно причинно-следственных связей между ВВП на душу населения и пенсионным возрастом, а также теми факторами-условиями, которые предположительно обусловливают влияние старения рабочей силы на производительность экономики.

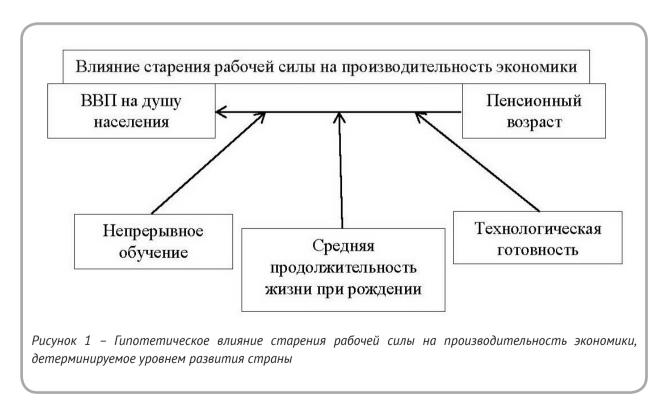
На рисунке 1 авторы схематично представили требующую доказательства гипотезу данного исследования о том, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется, помимо характеристик самих сотрудников старшего возраста, также и факторами, характеризующими уровень развития страны.

Схема, представленная на рисунке 1, показывает, что повышение установленного в стране пенсионного возраста, объективно приводящее к старению рабочей силы, гипотетически стимулирует производительность экономики, измеренную с помощью ВВП на душу населения, доказывая тем самым влияние старения рабочей силы на производительность экономики, но только при условии, что в этой стране достигнут достаточно высокий уровень непрерывного

обучения, средней продолжительности жизни и технологической готовности. В противном случае одним только повышением пенсионного возраста нельзя достигнуть высокой производительности экономики в стране с низким уровнем непрерывного обучения, средней продолжительности жизни и технологической готовности. Иными словами, влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется не столько характеристиками самой рабочей силы, сколько уровнем развития страны, способной (или не способной) эффективно использовать специфический человеческий капитал [9] работников старшего возраста.

Результаты и дискуссия

В соответствии с алгоритмом, представленным в описании методологии данного исследования, авторы начнут анализ данных с расчёта корреляции между показателями пенсионного возраста и ВВП на душу населения. Будет рассчитана как полная, так и частичная корреляция, при которой будет заблокировано действие трёх факторов, потенциально детерминирующих влияние старения рабочей силы на производительность экономики: непрерывное обучение,



Источник: создано авторами на основе анализа научной литературы и эмпирических данных.

средняя продолжительность жизни при рождении и технологическая готовность в странах мира. Для сравнения эффекта от блокирования переменных авторы включат их также и в полный корреляционный анализ. В таблице 2 представлены результаты полного корреляционного анализа между пятью переменными (рисунок 1), показывающие степень корреляционного параллелизма, но не причинно-следственные связи между ними.

Результаты полного корреляционного анализа, представленные в таблице 2, показывают, что имеет место статистически значимая (р-значение < 0.05) корреляционная взаимосвязь между ВВП на душу населения и всеми остальными переменными, включёнными в доказательство гипотезы исследования. Но особенно сильна эта взаимосвязь не между основными переменными – пенсионным возрастом и ВВП на душу населения, - а между ВВП на душу населения и всеми представленными в методологии данного исследования значимыми факторами, потенциально детерминирующими влияние старения рабочей силы на производительность экономики, особенно между ВВП на душу населения и технологической готовностью стран.

В таблице 3 авторы приводят сравнение результатов полного и частичного корреляционного анализа между пенсионным возрастом и ВВП на душу населения. В ходе частичного корреляционного анализа показана корреляционная взаимосвязь между пенсионным возрастом и ВВП на душу населения в том случае, если мы поочерёдно блокируем действие таких переменных, как непрерывное обучение, средняя продолжительность жизни мужчин при рождении и технологическая готовность стран.

Результаты частичного корреляционного анализа, представленные в таблице 3, показывают, что при блокировании действия таких переменных, как непрерывное обучение, средняя продолжительность жизни мужчин при рождении и технологическая готовность стран, корреляционная взаимозависимость между пенсионным возрастом и ВВП на душу населения становится гораздо слабее (как в случае с блокированием действия переменной «непрерывное обучение») или вообще исчезает (как в случае с блокированием действия переменных «средняя продолжительность жизни мужчин при рождении» и «технологическая готовность»). Вероятно, это происходит потому, что причинами повышения

Таблица 2 – Результаты полного корреляционного анализа между переменными, включёнными в доказательство гипотезы исследования, коэффициент корреляции Пирсона, $\mathbf{n} = 63$ страны

Переменные	Корреляция с ВВП на душу населения (ППС*), тыс. долларов США, 2020	Статистическая значимость, р-значение					
Пенсионный возраст для мужчин, годы, 2020–2021	0.397**	0.001					
Непрерывное обучение, баллы, 2021	0.744**	0.000					
Средняя ожидаемая продолжительность жизни мужчин при рождении, годы, 2020	0.702**	0.000					
Технологическая готовность, баллы, 2017	0.826**	0.000					

Примечание: * – по паритету покупательной способности; ** – корреляция (2-сторонняя) значима с 99 %-й вероятностью.

Источник: рассчитано авторами с использованием программы SPSS на основе анализа данных [31, 44, 48, 50].

Таблица 3 – Сравнение результатов полного и частичного корреляционного анализа между пенсионным возрастом и ВВП на душу населения, коэффициент корреляции Пирсона, $\mathbf{n} = 63$ страны

Переменные	Корреляция с ВВП на душу населения (ППС*), тыс. долларов США, 2020	Статистическая значимость, р-значение					
Пенсионный возраст для мужчин, годы, 2020–2021	0.397**	0.001					
Результаты частичного корреляционного анализа между пенсионным возрастом для мужчин и ВВП на душу населения (ППС) при блокироании действия следующих переменных:							
Непрерывное обучение, баллы, 2021	0.256	0.044					
Средняя ожидаемая продолжительность жизни мужчин при рождении, годы, 2020	0.063	0,625					
Технологическая готовность, баллы, 2017	-0.141	0.274					

Примечание: * – по паритету покупательной способности; ** – корреляция (2-сторонняя) значима с 99 %-й вероятностью.

Источник: рассчитано авторами с использованием программы SPSS на основе анализа данных [31, 44, 48, 50].

производительности экономики на макроуровне являются, скорее всего, именно те переменные, действие которых блокировалось в ходе реализации частичного корреляционного анализа, а не старение рабочей силы вследствие повышения в стране пенсионного возраста. Точнее установить и охарактеризовать эту предполагаемую причинно-следственную связь поможет регрессионный анализ, где результирующей переменной является производительность экономики на макроуровне, измеренная с помощью ВВП на душу населения, а потенциальными факторами все остальные переменные, включённые в доказательство гипотезы исследования.

$$y = -54.1 + 15.4x_4 + 0.3x_2 , \qquad (1)$$

где \boldsymbol{y} – ВВП на душу населения (ППС), тысяч долларов США, 2020; $\boldsymbol{x_4}$ – технологическая готовность, баллы, 2017; $\boldsymbol{x_2}$ – непрерывное обучение, баллы, 2021.

Исключённые переменные: \boldsymbol{x}_I – пенсионный возраст для мужчин, годы, 2020 – 2021; \boldsymbol{x}_3 – средняя ожидаемая продолжительность жизни муж-

чин при рождении, годы, 2020.

Источник: рассчитано авторами с использованием программы SPSS на основе анализа данных [31, 44, 48, 50].

Результаты регрессионного анализа показывают, что из всех переменных, включённых в доказательство гипотезы исследования, фактически причинами повышения производительности экономики являются технологическая готовность стран и уровень развития в них непрерывного обучения, с явным доминированием первого. Таким образом, технологическая готовность той или иной страны при одновременно высоком уровне развития в ней непрерывного обучения являются теми причинами-катализаторами, которые и обеспечивают стимулирующее влияние повышения пенсионного возраста на производительность экономики в странах современного мира.

Эти результаты проведённого авторами регрессионного анализа на выборке из 63 стран мира согласуются с результатами социологического исследования экономического потенциала работников старшего возраста, проведённого в Латвии [35], – стране, занимающей 37 место среди 137 стран мира по показателю технологи-

ческой готовности [44] и то же 37 место, но уже среди 134 стран мира, по показателю непрерывного обучения [31]. Латвийские исследователи установили, что «при объяснении причин, по которым работодатели при выборе сотрудников для своего предприятия отдали бы предпочтение более молодым людям и избегали бы нанимать на работу сотрудников старшего возраста, они [работодатели] ссылаются на условия труда (тяжёлый, физически интенсивный труд), а также негибкость мышления работников старшего возраста, трудности в принятии ими перемен и в обучении, состояние их здоровья, снижающее работоспособность» [35, с. 68]. Таким образом, результаты латвийского исследования на примере одной страны также подтверждают гипотезу данного исследования о том, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется, помимо характеристик самих сотрудников старшего возраста, также и факторами, характеризующими уровень развития страны – прежде всего, технологического развития, позволяющего максимально снизить необходимость выполнять упомянутую латвийскими работодателями тяжёлую, физически интенсивную работу.

Для получения более полных и стабильных результатов эмпирического анализа авторы дополнительно провели ещё и кластерный анализ, разделив попавшие в объект исследования 63 страны мира на группы с учётом всех переменных, включённых в доказательство гипотезы исследования. Как показывают результаты иерархического кластерного анализа, объект исследования, состоящий из 63 стран мира, чётко делится на два кластера. В таблице 4 приведены результаты сравнения обоих кластеров по средним величинам переменных, включённых в доказательство гипотезы исследования.

Участвующие в анализе страны мира разделились на два вышеописанных кластера (таблица 4) следующим образом:

- 1) Албания, Алжир, Армения, Азербайджан, Бангладеш, Бразилия, Болгария, Чили, Хорватия, Кипр, Эстония, Грузия, Греция, Венгрия, Индия, Индонезия, Италия, Казахстан, Латвия, Литва, Малайзия, Мексика, Молдова, Монголия, Польша, Португалия, Румыния, Россия, Сербия, Словакия, Словения, Южная Африка, Испания, Таджикистан, Турция, Украина, Вьетнам (37 стран);
- 2) Австралия, Австрия, Бельгия, Канада, Китай, Чехия, Дания, Финляндия, Франция, Германия,

Таблица 4 – Сравнение кластеров по средним величинам переменных, включённых в доказательство гипотезы исследования, t-тест для сравнения средних, n = 63 страны

	Средние величи	ны переменных	Статистическая значимость различий между кластерами, р-значение					
Переменные	Кластер 1	Кластер 2						
ВВП на душу населения (ППС), тыс. долларов США, 2020	23.2	56.2	0.000					
Пенсионный возраст для мужчин, годы, 2020–2021	63.1	64.3	0.043					
Непрерывное обучение, баллы от 0 до 100, 2021	31.6	68.3	0.000					
Средняя ожидаемая продолжительность жизни мужчин при рождении, годы, 2020	72.8	79.5	0.000					
Технологическая готовность, баллы от 1 до 7, 2017	4.6	5.9	0.000					

Источник: рассчитано авторами с использованием программы SPSS на основе анализа данных [31, 44, 48, 50].

Исландия, Ирландия, Израиль, Япония, Корея, Люксембург, Мальта, Нидерланды, Новая Зеландия, Норвегия, Саудовская Аравия, Сингапур, Швеция, Швейцария, Великобритания, США (26 стран).

Результаты кластерного анализа показали. что в первом кластере средние величины всех изучаемых показателей являются более низкими по сравнению со вторым кластером, и эта разница статистически значима (таблица 4). Таким образом, первый кластер стран мира отличается от второго кластера сравнительно низким средним уровнем ВВП на душу населения, пенсионного возраста для мужчин, непрерывного обучения, средней продолжительности жизни мужчин при рождении и технологической готовности. Причём показатель пенсионного возраста для мужчин является единственной переменной, разница между средними величинами которой в обоих кластерах (63.1 года в первом кластере против 64.3 лет во втором кластере, р-значение = 0.043 - таблица 4) очень близка к пороговому р-значению (0.05), после которого авторам пришлось бы констатировать, что, несмотря на относительно большую и статистически значимую разницу по уровню ВВП на душу населения, непрерывного обучения, средней продолжительности жизни мужчин при рождении и технологической готовности между странами двух кластеров, пенсионный возраст для мужчин в них статистически значимо не различается. В реальности страны мира находятся очень близко именно к такой ситуации, при которой старение рабочей силы, обусловленное повышением пенсионного возраста, происходит практически одинаково во всех странах мира, участвовавших в анализе, но при этом низкая производительность экономики наблюдается только в странах первого кластера, то есть в странах с относительно низким уровнем технологической готовности и непрерывного обучения.

выводы

В рамках данного исследования авторы попытались доказать стимулирующее влияние старения рабочей силы, обусловленного повышением пенсионного возраста, на производительность экономики, опираясь на концепт специфического человеческого капитала Г. Беккера и концепцию эндогенного роста, основанную на роли

технологий в экономическом росте стран мира. Применив несколько методов количественного анализа данных по 63 странам мира, авторы доказали гипотезу о том, что в современном мире влияние старения рабочей силы на производительность экономики детерминируется, помимо характеристик самих работников старшего возраста, также и факторами, характеризующими уровень развития страны, а именно её технологическая готовность как доминирующий фактор, а также уровень развития непрерывного обучения в стране как дополнительный фактор.

Авторы также пришли к выводу о том, что простое повышение пенсионного возраста, без учёта вышеупомянутых факторов, характеризующих уровень развития страны в технологическом и образовательном аспектах, не позволяет эффективно использовать экономический потенциал работников старшего возраста, хотя, возможно, является достаточно жёстким стимулом для долгосрочного изменения экономического поведения населения и осознания им экономической эффективности непрерывного обучения - не формального, а реального и внутренне мотивированного. Как показывают результаты социологического исследования экономического потенциала работников старшего возраста, проведённого в Латвии, латвийские работодатели достаточно высоко оценивают их экономическую значимость: «Почти половина работодателей характеризует сотрудников старшего возраста как неплохих специалистов, которые нужны предприятию, а каждый четвёртый как очень хороших и необходимых специалистов» (Projektu un kvalitates vadiba 2014: 69).

Тем не менее, как показывают также и результаты предыдущих исследований учёных Даугавпилсского университета (Латвия) о высшем образовании, существуют факторы, определяющие производительность и инновативность экономики и позволяющие высококвалифицированным специалистам превратить свои знания в инновации и национальный доход, – например, качество высшего образования и уровень технологического развития бизнеса (Stankevics et al. 2014). Этот подтверждающийся многими исследованиями акцент на технологической развитости страны вкупе с качественным непрерывным обучением рабочей силы авторы считают наи-

важнейшим условием, определяющим влияние старения рабочей силы на производительность экономики в странах современного мира.

Авторы готовы поспорить с латвийскими исследователями экономического потенциала работников старшего возраста, пришедшими к выводу о том, что «для реализации и развития экономического потенциала населения предпенсионного возраста нужны конкретные меры в сфере трудоустройства и обучения, специально ориентированные на эту возрастную

группу» (Projektu un kvalitates vadiba 2014: 70). Хотя, опираясь на результаты своего эмпирического исследования, авторы согласны со значимостью непрерывного обучения для наиболее эффективного использования экономического потенциала работников старшего возраста, но полагают, что без соответствующего уровня технологического развития бизнеса в стране процесс непрерывного обучения превращается в формальную деятельность «для галочки».

RFFFRFNCFS

- 1. Abel, J., Dey, I., Gabe, T. (2010), Productivity and the density of human capital, *Federal Reserve Bank of New York Staff Reports*, 2010, № 440, available at: https://www.newyorkfed.org/research/staff reports/sr440.html (accessed 24.01.2022).
- 2. Aiyar, Sh., Ebeke, Ch., Shao, X. (2016), The impact of workforce aging on European productivity, *IMF Working Paper*, 2016, available at: https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2016/wp16238.pdf (accessed 24.01.2022).
- 3. Andretta, C., Brunetti, I., Rosso, A. (2021), Productivity and human capital: the Italian case, *OECD Productivity Working Papers*, 2021, No. 25, available at: https://doi.org/10.1787/01ca6be9en (accessed 24.01.2022).
- 4. Avolio, B. J., Waldman, D. A. (1994), Variations in cognitive, perceptual, and psychomotor abilities across the working life span: examining the effects of race, sex, experience, education, and occupational type, *Psychology and Aging,* 1994, Nº 3 (9), pp. 430–442, available at: https://doi.org/10.1037/0882-7974.9.3.430 (accessed 24. 01.2022).
- 5. Barro, R. J. (2001), Human capital and growth, *The American Economic Review*, 2001, № 3 2 (91), pp. 12–17, available at: https://www.jstor.org/stable/i345897 (accessed 24.01.2022).

- 6. Barro, R., Sala-i-Martin, X. (2004), *Economic Growth*, 2nd edition, MIT Press.
- 7. Barthel, J. (2008), Can age discrimination be justified with a lower productivity of older workers? *MPRA Papers*, 2004, № 14682.
- 8. Becker, G. (1964), *Human Capital*, 2nd edition, New York: Columbia University Press.
- 9. Becker, G. (1993), The economic way of looking at behavior, *Journal of Political Economy*, 1993, № 3 (101), pp. 385–409, available at: https://doi.org/10.1086/261880 (accessed 24.01.2022).
- 10. Becker, G. S. (2009), *Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education*, Chicago: University of Chicago Press.
- 11. Becker, G., Ghez, G. (1975), *The Allocation of Time and Goods Over the Life Cycle*, New York: Columbia University Press.
- 12. Becker, G., Hubbard, W., Murphy. K. (2010), Explaining the worldwide boom in higher education of women, *Journal of Human Capital*, 2010, № 3 (4), pp. 203–241, available at: https://doi.org/10.1086/657914 (accessed 24.01.2022).
- 13. Boring, P., Grogaard, J. B. (2021), Do older employees have a lower individual productivity potential than younger employees? *Journal*

- of Population Ageing, available at: https://doi.org/10.1007/s12062-020-09323-1 (accessed 24. 01.2022).
- 14. Borsch-Supan, A., Weiss, M. (2016), Productivity and age: Evidence from work teams at the assembly line, *Journal of the Economics of Ageing*, 2016, № 7, pp. 30–42, available at: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212828X15000304 (accessed 24.01.2022).
- 15. Cardoso, A. R., Guimaraes, P. (2010), Are older workers worthy of their pay? An empirical investigation of age-productivity and agewage nexuses, *Discussion Papers*, 2010, № 5121, available at: https://digital.csic.es/bitstream/10261/45346/3/Are%20Older%20Workers%20 Worthy.pdf (accessed 24.01.2022).
- 16. Cataldi, A., Kampelmann, S., Rycx, F. (2011), Does it pay to be productive? The case of age groups, *IZA Discussion Papers*, 2011, № 5938, available at: https://econpapers.repec.org/paper/izaizadps/dp5938.htm (accessed 24.01.2022).
- 17.Cocalia, A. (2015), Knowledge and information new factors of production in the context of globalization, *Ecoforum*, 2015, № 1 (4), pp. 119–124.
- 18. Colonia-Willner, R. (1998), Practical intelligence at work: relationship between aging and cognitive efficiency among managers in a bank environment, *Psychology and Aging*, 1998, № 1 (13), pp. 45–57, available at: https://doi.org/10.1037/0882-7974.13.1.45 (accessed 24. 01.2022).
- 19. Connie, M. M. (2020), The American elder, *The Capital-journal*, available at: https://eu.cjonline.com/story/opinion/columns/2020/11/29/connie-mason-michaelis-american-elder/115066866/ (accessed 24.01.2022).
- 20. Cusolito, A., Maloney, W. (2018), *Productivity Revisited. Shifting Paradigms in Analysis and Policy*, International Bank for Reconstruction

- and Development, The World Bank, available at: https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1334-4 (accessed 24.01.2022).
- 21. Deary, I. J., Whalley, L. J., Lemmon, H., Crawford, J. R., Starr, J. M. (2000), The stability of individual differences in mental ability from childhood to old age. Follow-Up of the 1932 Scottish Mental Survey, *Intelligence*, 2000, № 1 (28), pp. 49–55, available at: https://doi.org/10.1016/S0160-2896(99)00031-8 (accessed 24.01.2022).
- 22. De Tavernier, W., Naegele, L., Hess, M. (2019), A critical perspective on ageism and modernization theory, *Social Inclusion*, 2019, № 3 (7), available at: https://doi.org/10.17645/si.v7i3. 2371 (accessed 24.01.2022).
- 23. Diene, M., Diene, B., Azomahou, T. (2016), Human capital productivity, endogenous growth, and welfare: the role of uncertainty, *Macroeconomic Dynamics*, 2016, № 8 (20), pp. 2067–2092, available at:https://doi.org/10.1017/S13651005 15000309 (accessed 24.01.2022).
- 24. Gobel, Ch., Zwick, Th. (2011), Age and productivity sector differences? *Discussion Papers*, 2011, № 11-058, Centre for European Economic Research, available at: https://doi.org/10.2139/ssrn.1949643 (accessed 24.01.2022).
- 25. Hellerstein, J. K., Neumark, D. (1995), Are earnings profiles steeper than productivity profiles? Evidence from Israeli firm-level data, *Journal of Human Resources*, 1995, № 1 (30), pp. 89–112, available at: http://www.jstor.org/stable/pdfplus /146192 (accessed 24.01.2022).
- 26. Hellerstein, J. K., Neumark, D., Troske K. (1999), Wages, productivity, and worker characteristics: evidence from plant-level production functions and wage equations, *Journal of Labor Economics*, 1999, № 3 (17), pp. 409–446, available at: http://dx.doi.org/10.1086/209926 (accessed 24. 01.2022).

- 27. Kahana, E., Slone, M.R., Kahana, B., Langendoerfer, K.B., Reynolds, C., (2018), Beyond ageist attitudes: researchers call for NIH action to limit funding for older academics, *Gerontologist*, 2018, Nº 2 (58), pp. 251–260, available at: https://doi.org 10.1093/geront/gnw190 (accessed 24. 01.2022).
- 28. Keim, R. (2020), Finding statistical relationships: correlation, causation, and covariance, Techni-cal Article, available at:https://www.allaboutcircuits.com/technical-articles/finding-statistical-relationships-correlation-causation-and-covariance/ (accessed 24.01.2022).
- 29. Komarova, V., Mietule, I., Arbidane, I., Tumalavicius, V., Prakapiene, D. (2021), Will production in the modern world and its regions return to a slow growth regime? *Economic Annals-XXI*, 2021, № 1-2 (187), pp. 4–14, available at: https://doi.org/10.21003/ea.V187-01 (accessed 24.01. 2022).
- 30. Kudins, J. (2021), Determinants of the elderly employment in Latvia, *Proceedings of the 22nd International Conference "Economic Science for Rural Development"*, 2021, № 55, pp. 323–332, available at: https://www.esaf.llu.lv/sites/esaf/files/files/lapas/Krajums_Nr_55_2021_08 23%20%281%29.pdf (accessed 24.01.2022).
- 31. Lanvin, B., Monteiro, F. (Eds.) (2021), *The Global Talent Competitiveness Index 2021: Talent Competitiveness in Times of COVID*, INSEAD (The Business School for the World), Portulans Institute, Accenture, available at: https://www.insead.edu/sites/default/files/assets/dept/fr/gtci/GTCI-2021-Report.pdf (accessed 24.01.2022).
- 32. Maitland, S. B., Intrieri, R. C., Schaie, K. W., Willis, S. L. (2000), Gender differences and changes in cognitive abilities across the adult life span, *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 2000, № 1 (7), pp. 32–53, available at: https://doi.org/10.1076/anec.7.1.32.807 (accessed 24.01. 2022).

- 33. Park, D. C., Nisbett, R. E., Hedden, T. (1999), Culture, cognition, and aging, *Journal of Gerontology*, 1999, № 54 B, pp. 75–84, available at: https://doi.org/10.1093/geronb/54b.2.p75 (accessed 24.01.2022).
- 34. Pelinescu, E. (2015), The impact of human capital on economic growth, *Procedia Economics and Finance*, 2015, № 22, pp. 184–190, available at: https://doi.org/10.1016/S2212-5671 (15)00258-0 (accessed 24.01.2022).
- 35. Projektu un kvalitātes vadība (2014), *Pirmspensijas vecuma iedzīvotāju ekonomiskā potenciāla izvērtējums* [Assessment of the economic potential of the population of preretirement age], Study Report, available at: https://www.nva.gov.lv/sites/nva/files/Documents/30_534 671ac5b2150.125203751.pdf (accessed 24.01. 2022).
- 36. PwC Global (2017), Golden Age Index: how well are the OECD economies harnessing the power of an older workforce?, available at: https://www.pwc.com/sk/sk/inovacie/golden-age-index.html#content-free-1-d3fb (accessed 24. 01.2022).
- 37.PwC Global (2018), *Golden Age Index: unlocking a potential* \$3.5 trillion prize from longer working lives, available at: https://www.pwc.com/gx/en/news-room/docs/pwc-golden-age-index.pdf (accessed 24.01.2022).
- 38. Rice, P., Venables, A. (2004a), Spatial determinants of productivity: analysis for the regions of Great Britain, *CEP Discussion Papers*, 2004, № 642, available at: http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/dp0642.pdf (accessed 24.01. 2022).
- 39. Rice, P., Venables, A. (2004b), *Productivity: Understanding Regional Differences*, available at: http://cep.lse.ac.uk/pubs/download/CP162.pdf (accessed 24.01.2022).

- 40. Romer, P. (1986), Increasing returns and longrun growth, *Journal of Political Economy*, 1986, № 5 (94), pp. 1002–1037, available at: https://doi.org/10.1086/261420 (accessed 24.01.2022).
- 41. Romer, P. (1989a), Capital accumulation in the theory of long run growth, Barro, R. (Ed.), *Modern Business Cycle Theory*, Cambridge, MA: Harvard University Press, pp. 51–127.
- 42. Romer, P. (1989b), Human capital and growth: theory and evidence, *NBER Working Papers*, 1989, № 3173, available at: https://www.nber.org/papers/w3173.pdf (accessed 24.01.2022).
- 43. Schultz, T. (1961), Investment in human capital, *American Economic Review*, 1961, № 51, pp. 1–17, available at: https://www.ssc.wisc.edu/~walker/wp/wp-content/uploads/2012/04/schultz61. pdf (accessed 24.01.2022).
- 44. Schwab, K., World Economic Forum (2017), *The Global Competitiveness Report 2017–2018*, available at: https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2017-2018 (accessed 24.01.2022).
- 45. Schwab, K., Zahidi, S., World Economic Forum (2020), *The Global Competitiveness Report.* Special Edition 2020: How Countries Are Performing on the Road to Recovery, available at: https://www.weforum.org/reports/the-global-competitiveness-report-2020 (accessed 24.01. 2022).
- 46. Skirbekk, V. (2003), Age and individual productivity: a literature survey, *MPIDR Working Papers*, 2003, WP 2003-028, available at: https://ideas.repec.org/p/dem/wpaper/wp-2003-028.html (accessed 24.01.2022).
- 47.Stankevics, A., Ignatjeva, S., Mensikovs, V. (2014), Higher education's contribution to economic performance and innovativeness in Latvia:

- exploratory research, *Economic Annals*, 2014, № 59 (202), pp. 7–42, available at: https://econpapers.repec.org/article/beojournl/v_3a 59_3ay_3a2014_3ai_3a202_3ap_3a7-42.htm (accessed 24.01.2022).
- 48. Trading Economics (2022), *Retirement Age Men*, available at: https://tradingeconomics.com/country-list/retirement-age-men (accessed 24.01.2022).
- 49. Verhaegen, P., Salthouse, T. A. (1997), Meta-analyses of age-cognition relations in adulthood. Estimates of linear and nonlinear age effects and structural models, *Psychological Bulletin*, 1997, № 3 (122), pp. 231–249, available at: https://doi.org/10.1037/0033-2909.122.3.231 (accessed 24.01.2022).
- 50. World Health Organization (2020), *Life Expectancy and Healthy Life Expectancy*, Data by Country, available at: https://apps.who.int/gho/data/node.main.688 (accessed 24.01.2022).
- 51. World Health Organization (2021), *Ageism is a Global Challenge: UN*, Report, available at: https://www.who.int/news/item/18-03-2021-ageism-is-a-global-challenge-un (accessed 24. 01.2022).

Статья поступила в редакцию 27. 01. 2022 г.

АНАЛИЗ МОДЕЛИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА КИТАЯ

ANALYZING CHINA'S ECONOMIC GROWTH MODEL

УДК 330.35(510)

Т.В. Никонова*, О.М. Андриянова, В. Цзиньтин

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-197-204

T. Nikonova, O. Andryanova, W. Jinting

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РОСТ, ФАКТОРЫ ЭКОНО-МИЧЕСКОГО РОСТА, СТАДИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КИТАЯ, МОДЕЛЬ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА КИТАЯ

Статья посвящена исследованию экономического роста Китая, а также трансформации его факторов на различных этапах развития стра-

Объектом исследования является современная экономика Китая.

Предметом исследования являются факторы экономического роста Китая.

Цель исследования – выявление особенностей развития Китая и разработка модели его экономического роста.

Научная новизна результатов исследования заключается в выявлении актуальных факторов экономического роста Китая, а также в разработке математической модели, описывающей экономический рост Китая на современном этапе его развития.

Разработанная модель может быть использована для прогнозирования экономического роста Китая.

ABSTRACT

ECONOMIC GROWTH, FACTORS OF ECONOMIC GROWTH, STAGES OF CHINA'S ECONOMIC DEVELOP-MENT, MODEL OF CHINA'S ECONOMIC GROWTH

The article is devoted to the study of China's economic growth, as well as the transformation of its factors at various stages of the country's development.

The object of the research is the contemporary economy of China.

The subject of this research is the factors of China's economic growth at the present stage and in the near future.

The purpose of the study is to identify the features of China's development and develop a model of its economic growth.

The scientific novelty of the research results is expressed by the identification of the actual factors of China's economic growth, as well as by the development of a mathematical model describing the economic growth of China at the present stage of its development.

The developed model can be used to predict China's economic growth.

The relevance of the research topic is determined by the increased role of the Chinese economy in the contemporary system of world economic relations, which was due, first of all, to the stable and high rates of economic growth of the country over the past four decades. The specific feature of the implementation of the model of China's social-and-economic development from the last quarter of the past century to the beginning of this century was accelerated economic growth,

despite the general slowdown in the development of the world economy, which makes it possible to consider as highly reliable the official forecasts that the country will achieve absolute leadership in the world economy.

Despite a large number of scientific articles and monographs as well as a number of Chinese and Western experts engaged into various aspects of China's economic development, the issues they discuss do not fully explain the specifics of China's

^{*} E-mail: st.rubon@mail.ru (T. Nikonova)

economic growth.

All this justifies the interest in studying the Chinese economy both in relation to the definition of the role of China in the global economy, and as the unique opportunities to use the Chinese experience in other emerging economies.

FACTORS AFFECTING ECONOMIC GROWTH

Economic growth is one of the most important processes in the economy. Its dynamics are used to judge the economic development, the standard of living, and how effectively limited resources are used. Therefore, it is important to study the factors of economic growth to determine the main vectors of their impact.

Study of factors that increase or hinder economic growth was one of the central principles of theoretical and empirical researchers of growth.

Researchers will distinguish various factors of economic growth for developing and developed countries (Table 1).

The results of the study show that factors such as human capital, physical capital, domestic investment, foreign direct investment, trade openness have a significant positive effect on economic growth. Factors such as inflation and population growth have a significant negative effect on economic growth. At the same time, the growth of the urban population, according to the research results, has a positive effect on economic growth. S.J. Most and H. Van de Berg [11] obtained different results in their studies. Some factors have a positive effect on the economic growth of a number of countries, while they negatively affect the economic growth of others.

We use the information shown in Table 1 to identify factors affecting China's economic growth. THE STAGES OF DEVELOPMENT OF THE CHINESE ECONOMY

The development of the economic system is primarily characterized by the country's GDP trend, the positive dynamics of which indicates economic growth.

Studying the dynamics of China's GDP allowed us to highlight several stages in its development (Figure 1), each of which is characterized by a different set of factors that influence economic growth.

Thus, China's economy can be divided into pre reform stage (1950–1979) and post reform

stage (1979-present). The post reform stage can be divided into five substages because of the different development of each stage: reform preparation stage (1979–1991), opening stage (1991–1999), coordinated development stage (1999–2008), credit economy stage (2008–2019) and new steady state stage (2019-present).

Table 2 shows the factors influencing the economic growth of China at certain stages of its development.

The factors analyzed had a significant impact on the development of the Chinese economy. The greatest influence on the economic growth of China was made by such factors as agricultural and industry production volume, exports, imports, gross capital formation, foreign direct investment, population, monetary sector credit. We will use them to build a model of China's economic development.

BUILDING A MODEL FOR THE DEVELOPMENT OF CHINA'S ECONOMY

Building a model of China's economic growth involves several stages.

1. Estimation of the parameters of the linear regression model by the Ordinary Least Squares method (OLS).

Below is a regression equation in the form of:

$$y = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x_1 + \alpha_2 \cdot x_2 + \alpha_3 \cdot x_3 + \alpha_4 \cdot x_4 + \alpha_5 \cdot x_5 + \alpha_6 \cdot x_6 + \alpha_7 \cdot x_7 + \alpha_8 \cdot x_8 , \qquad (1)$$

where y – Gross Domestic Poduct (GDP); x_1 – Agriculture, Forestry, and Fishing; x_2 – Industry; x_3 – Exports; x_4 – Imports; x_5 – Gross Capital Formation; x_6 – Foreign Direct Investment; x_7 – Population; x_8 – Monetary Sector Credit.

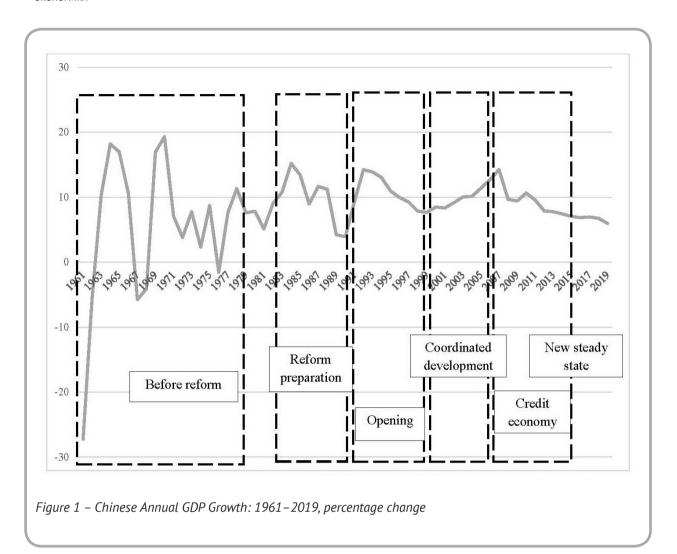
Statistical modeling of the relationship by the method of Linear Regression Analysis will be carried out in 3 stages:

- 1) estimation of the parameters of the linear regression model by the Ordinary Least Squares (OLS) method;
- 2) checking the adequacy of the regression model (checking the significance of individual estimates of the coefficients of the model using the Student's T-test and evaluating the significance of the regression equation as a whole using Fischer's F-test);

Table 1 – Factors that either increase or hinder economic growth in developing and developed countries

Author(s)	Countries	Methodology	Factors increase economic growth	Factors hindering economic growth					
Developing Countries									
Anyanwu	53 African countries (Tunisia, South Africa, Egypt, Republic of Congo, Mauritania, Algeria, Botswana and e.g.), China	Cross- county panel regression Time-series regression	Domestic investment Net official aid Secondary school enrolment Metal price index Government effectiveness Urban population Trade openness	While official development aid Population growth Inflation Credit to private sector Agricultural material price Oil price indices					
Bhaskara-Rao and Hassan	Bangladesh	Neoclassical Foreign direct investment Growth Money supply		Government expenditure Inflation					
Easterly and Levine	Sub-Saharan Africa, Latin America, Caribbean Countries (Cameroon, Tanzania, Zambia, Jamaica, South Africa, Kenya, Liberia, Angola, Mali, Sierra Leone, Haiti, Dominican Republic and e.g.)	Cross-sectional regression	The log of schooling Financial depth Measure of telephones per worker Fiscal surplus	Political assassinations Black market premiums					
Knight, Loayza and Villanueva	76 developing countries (Argentina, Bangladesh, Central Africa Republic and e.g.)	Panel regression	Physical capital Human capital Public investment	Weighted tariff rates Openness to trade Population growth					
Most and Vann de Berg	11 Sub-Saharan Africa countries – Nigeria, Zambia, Togo, Ivory Coast, Rwanda, Cameroon, Botswana, Niger, Senegal and e.g.	Country- specific time series regression	Foreign aid Domestic savings Foreign direct investment	Foreign aid Domestic savings Foreign direct investment Population growth					
		Developed Counti	ries						
Asheghian	Japan	Augmented neoclassical growth model-Beach- Mackinnon technique	Total factor productivity Domestic investment	-					
Bayraktar	Turkey	Extreme Bounds Analysis	Investment share Human capital	Inflation					
Checherita- Westphal and Rother	Austria, Belgium, Finland, France, Germany, Greece, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Portugal and Spain	Conditional convergence equation	Government balance Government debt Private savings Trade openness	Population growth Real interest rates					

Source: compiled by the author according to [1-7, 9, 11].



Source: compiled by the author according to World Economic Outlook Database.

3) analysis of the fulfillment of the prerequisites of OLS (Gauss-Markov conditions).

To carry out the research, the GRETL (GNU Regression Econometrics and Time Series Library) software package was used, which is a toolkit for the practical implementation of complex computational procedures for econometric modeling. To obtain estimates of such a regression model, we apply the classical Ordinary Least Squares method (OLS).

We formulate a null hypothesis about the insignificance of the coefficient ($\alpha_i = 0$ and only due to accidental circumstances it turned out to be equal to the checked value) and an alternative – about the significance ($\alpha_i \neq 0$), and also choose the level of significance (1%– the maximum allowable probability of erroneous

acceptance of an alternative hypothesis).

According to the observations, the following model was compiled:

$$y=3.7032 \cdot 10^{12} - 0.2303 \cdot x_1 + 1.8191 \cdot x_2 + +0.472 \cdot x_3 - 0.1191 \cdot x_4 - 0.4025 \cdot x_5 - 1.5712 \cdot x_6 - -2909.97 \cdot x_7 + 0.2852 \cdot x_8.$$
 (2)

We see that in the estimated model (2), only the coefficients for the variables \boldsymbol{x}_2 (Industry) and \boldsymbol{x}_8 (Monetary Sector Credit) are significant (in this case, the probability of error when accepting the hypothesis about their significance is p-value = 0,001 %), for the coefficient at \boldsymbol{x}_6 (Foreign Direct Investment), the probability of an error when accepting the hypothesis about its significance

Table 2 Eactors	s influencing the economi	ic arouth of China a	it cortain stages o	fite dovalanment
IUDIE Z - FUCIOIS	innuencina the economi	ic arowuri oi Criiria a	il certairi staaes o	ii ils aevelobiiieiil

Stage of development	Development features	Factors influencing the economic growth
Before reform	Totally planned economy, political factor matters most. Only resource matters, other factors are not working	Government spending, net official aid, physical capital, agricultural production volume
Reform preparation	Political factor still plays the most important role. Investment and human capital starts working in light industry area	Population, inflation, human capital, public investment, industry production volume
Opening	Political factor is playing important role, but most of the area is open. Investment, human capital, science and technology are playing very important role	Human capital, cross capital formation, public investment, industry production volume
Coordinated development	Political factor is playing less important role, only for protecting. China joined WTO, mostly working as an open country	Export, import, physical capital, public investment, foreign direct investment, urban population, industry production volume
Credit economy	Political factor is playing an medium role, leading in some areas like construction. There's a need for large investments to increase GDP	Monetary sector credit, trade openness, public, domestic and foreign direct investment
New steady state	Political factor is playing medium role, leading in some areas like High-tech area. GDP slows down	Unemployment, foreign demand, domestic demand, volume of e-commerce and financial services, government spending, net official aid, export, foreign technology, national debt

Source: compiled by the author.

is p-value = 0,005 %. All other parameters are insignificant.

In the considered model, the weakest variables are x_4 (Imports) and x_1 (Agriculture, Forestry, and Fishing) – the probability of an error when accepting the hypothesis about their significance is 79.3 % and 72 %, respectively.

According to the method of selecting explanatory variables a posteriori, it is assumed to exclude variables with minimal modulo values of the T-criterion, in the case under consideration – variables \boldsymbol{x}_{1} (Agriculture, Forestry, and Fishing), \boldsymbol{x}_{3} (Exports), \boldsymbol{x}_{4} (Imports), \boldsymbol{x}_{5} (Gross Capital Formation), \boldsymbol{x}_{6} (Foreign Direct Investment), \boldsymbol{x}_{7} (Population).

2. Assessment of the suitability of the model. Let's evaluate the suitability of the model (2) using the following indicators: Fisher's F-criterion. Determination coefficient R² (Unadjusted R² и Adjusted R²), the Sum of the squares of the residuals (RSS), Standard error of residuals, information criteria (Akaike information criterion, Schwarz Bayesian criterion, Hannan-Quinn criterion).

In the model under consideration, Fischer's F-criterion F(8, 11) = 17952.91 for p-value < 0.00001. Since the p-value is less than the selected significance level (p = 1 %), a decision is made to accept an alternative hypothesis, i.e. the adequacy of the model as a whole. Thus, as a result of the analysis of the considered model for adequacy, we can conclude: the model according to the Fisher F-criterion is adequate, but six regression coefficients (for variables $x_1, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$) are insignificant.

In this case, the model is suitable for making some decisions about the dependence of the variable y (Gross Domestic Product) on the variables x_2 (Industry) and x_8 (Monetary Sector Credit), but not for making forecasts.

We exclude variables x_1 , x_3 , x_4 , x_5 , x_6 , x_7 from the model (2) and repeat the considered sequence of actions to obtain a linear regression model that establishes the dependence of the variable y (Gross Domestic Product) on variables x_2 (Industry) and x_8 (Monetary Sector Credit).

Thus, we get an adjusted model:

$$y=7.4032\cdot10^{10}+1.4209\cdot x_2+0.2722\cdot x_8$$
 (3)

In this model, the variables x_2 and x_8 are significant and the model as a whole is suitable for practical use for decision-making and forecasting.

Regression analysis of linear functions based on the conventional or one-step Least Squares (OLS) method must satisfy four Gauss-Markov conditions:

- 1. The mathematical expectation of the random component, $M(u_i)$ in any observation should be zero.
- 2. The variance of the random component should be constant for all observations. If this condition is not met, then heteroscedasticity occurs, the presence of heteroscedasticity can be determined using the White test, which allows you to check the significance of the regression of the squares of the residuals relative to the complex of model variables and their squares. At the same time, a null hypothesis is formulated about the homoscedasticity of the residuals (the equality of all coefficients of the model to zero).
- 3. The absence of a systematic relationship between the values of the random component ui in any two observations. Absence of autocorrelation of residues.

Let's check the Gauss-Markov conditions.

1. Zero average value (mathematical expectation) of the residuals.

To verify this statement, select the created variable residuals, the average value of the residuals (mean) is 0.

2. Checking the condition of homoscedasticity of residues.

The results window in this case shows that the value of p-value = 0.1429 greater than the significance level of 0.01 indicates that the null hypothesis should be accepted and the condition of homoscedasticity of the residuals is fulfilled.

3. The absence of a systematic relationship between the values of the random component \boldsymbol{u}_i in any two observations (lack of autocorrelation of residues).

Let's calculate the correlation coefficient between these variables by selecting the variables Residual and Residual 1. We get a coefficient of 0.3644, indicating an insignificant correlation (correlation is considered strong if its coefficient is higher than |0.6|.

4. The random component must be distributed independently of the variables \boldsymbol{x}_i and \boldsymbol{y} (the random nature of the residuals).

For verification, a graph of the dependence of the \boldsymbol{u}_i residuals on the theoretical values of the resultant feature \boldsymbol{y} and \boldsymbol{x} is plotted.

Let's construct a paired regression of the Residuals error from the model values of the resultant attribute $y_{\rm final}$. As a result, we get a zero coefficient value and a single p-value, as well as the location of the residuals on the graph in the form of a horizontal strip, which indicates the absence of this dependence and the random nature of the residuals.

The dependence of the residuals on the variables \mathbf{x}_2 and \mathbf{x}_8 can be checked from the model window $\mathbf{y}=7.4032\cdot 10^{10}+1.4209\cdot \mathbf{x}_2+0.2722\cdot \mathbf{x}_8$ by plotting the corresponding graphs. On the obtained graphs, the residuals are also arranged in the form of horizontal bands, which indicates the absence of corresponding dependencies.

From the above, it can be established that all the prerequisites for the use of OLS to determine the parameters of the model in question are fulfilled. The constructed model \boldsymbol{y} = 7.4032·10¹⁰+1.4209· \boldsymbol{x}_2 ++0.2722· \boldsymbol{x}_8 based on its Fischer F-test is generally adequate, and all regression coefficients are significant (as a result of the Student's T-test). Such a model can be used to make decisions and implement forecasts.

Let's calculate the GDP for five years from 2020 to 2024, using the available data from 2000 to 2019.

The Table 3 in the second column shows numerically projected GDP values from 2020 to 2024.

Comparing the projected GDP value for 2020 of $1.44814 \cdot 10^{13} \, \text{\$}$ according to the proposed model (3) and the real value of $1.47227 \cdot 10^{13} \, \text{\$}$ published by the World Bank at the end of 2020, we see that the deviation is $1.64 \, \%$.

Thus, a multifactorial regression model reflecting the dependence of GDP on various

economic factors of China's development is proposed. The OLS method has established two factors (Industry, Monetary Sector Credit) that have the greatest importance for GDP. A study was conducted and the adequacy of the proposed model was proved. The GDP value was predicted for 5 years. The comparison with the available World Bank data shows a deviation of 1.64 %.

Table 3 – Numerically projected GDP values from 2020 to 2024

Year	GDP values, ·10¹³ \$
2020	1.44814
2021	1.52372
2022	1.59929
2023	1.67487
2024	1.75045

Source: compiled by the author.

REFERENCES

- 1. Anyanwu, J. C. (2014), Factors Affecting Economic Growth in Africa: Are There Any Lessons from China?, *African Development Review*, № 26, 2014, pp. 468–493.
- 2. Asheghian, P. (2009), Determinants of Economic Growth in Japan: The Role of Foreign Direct Investment, *Global Economy Journal*, № 9, 2009, pp. 1–9.
- 3. Bayraktar, B. (2006), Investigation on Sources of Growth for Turkey, Canadian Journal of Development, № 27, 2006, pp. 25–38.
- 4. Bhaskara-Rao, R., Hassan, G. (2011), Determinants of the Long-Run Growth Rate of Bangladesh, *Apllied Economics Letters*, № 18, 2011, pp. 655–658.

- 5. Checherita-Westphal, C., Rother, P. (2012), The Impact of High Government Debt on Economic Growth and its Channels: An Empirical Investigation for the Euro area, *European Economic Review*, № 56, 2012, pp. 1392–1405.
- 6. Chirwa, T. G., Odhiambo, N. M. (2016), Macroeconomic Determinants of Economic Growth: a Review of Interanational Literature, *South East European Journal of Economics and Business*, № 11,2016, pp. 33–47.
- 7. Easterly, W. R., Levine, R. (1997), Africa's Growth Tragedy: Policies and Ethnic Divisions, *The Quarterly Journal of Economics*, № 112, 1997, pp. 1203–1250.
- 8. Hanaa, E., Nedra, S. (2017), Key Factors of China's Economic Emergence, *Mediterranean Journal of Social Sciences*, № 3, 2017, pp. 251–258.

- 9. Knight, M., Loayza, N., Villanueva, D. (1993), Testing the Neoclassical Theory of Economic Growth: A Panel Data Approach, *Staff Papers*, № 40,1993, pp. 512–541.
- 10. Lucas, R. (1988), On the Mechanics of Economic Development, *Journal of Monetary Economics*, № 1, 1988, pp. 3–42.
- 11. Most, S. J., Van de Berg, H. (1996), Growth in Africa: Does the Source of Investment Financing Matter?, *Applied Economics*, № 28, 1996, pp. 1427–1433.

Статья поступила в редакцию 02. 11. 2021 г.

МЕТОДИКА ВЫБОРА ИНСТРУМЕНТОВ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ ТЕМПОМ ЖИЗНИ

METHODOLOGY FOR SELECTING TOOLS FOR MANAGING THE REGIONAL PACE OF LIFE

УДК 332.1

Ю.Ю. Рассеко, Е.М. Карпенко*

Белорусский государственный университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-205-213

Yu. Rasseko, Ye. Karpenko*

Belarusian State University

РЕФЕРАТ

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНОМ; РЕГИО-НАЛЬНЫЙ ТЕМП ЖИЗНИ; МЕТОДИКА; ИНВЕСТИ-ЦИИ; ИНСТРУМЕНТЫ; ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ

В статье представлен результат исследования оценки влияния новой категории - региональный темп жизни – на социально-экономические показатели функционирования территорий. Обоснованная возможность его использования в системе регионального развития требует наличия методического обеспечения управления региональным темпом жизни. С этой целью разработана авторская методика, которая позволяет достичь целевых позиций социально-экономического развития региона с помощью выбранной типологической группировки инструментов управления региональным темпом жизни. Разработанный авторами инструмент может применяться как в качестве самостоятельного средства развития территорий, так и в качестве индикатора готовности к освоению регионом дополнительных ресурсов. Апробация методики позволила выявить оптимальную траекторию развития для Республики Беларусь и рекомендовать две типологические группы инструментов изменения регионального темпа жизни. Решаемая в исследовании задача предлагает к использованию новый элемент системы регионального развития: региональный темп жизни, обращает внимание на возможность формирования направлений регионального развития на его основе.

ABSTRACT

REGIONAL DEVELOPMENT, REGIONAL MANAGE-MENT SYSTEM, REGIONAL PACE OF LIFE, METHO-DOLOGY, INVESTMENTS, TOOLS, POSITIONING

The article presents the result of a study assessing the impact of a new category - the regional pace of life on the socio-economic indicators of the functioning of territories. The purpose of the development of the author's methodology was the reasonable possibility of its use in the system of regional management. The proposed methodological algorithm makes it possible to achieve the target positions of the socio-economic development of the region with the help of the selected typological grouping of tools for managing the regional pace of life. The tool developed by the authors can be used both as an independent means of territorial development and as an indicator of readiness for the development of additional resources by the region. The approbation of the methodology made it possible to identify the optimal development trajectory for Belarus and recommend two typological groups of tools for changing the regional pace of life. The problem solved in the study suggests the use of a new element of the regional development system, draws attention to the possibility of forming a modernized direction of regional development.

^{*} E-mail: *emkarpenko@mail.ru* (Ye. Karpenko)

вестник витебского государственного технологического университета, 2022, № 1 (42)

ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых факторов развития национальной экономики является устойчивое развитие регионов. Исследованиями направлений устойчивого развития региональной экономики занимался ряд авторов, среди которых К. Сумар, В. Андрейченко, А. Якобсон, В. Савченко, Н. Домашкевич, Б. Батура, А. Кобяков, Р. Салата, А. Н. Тур, С. Хрипко и другие. Проблемам регионального и городского развития посвящены труды отечественных и зарубежных ученых: Дж. Адаме, Г. Ветров, Г. Гутман, А. Гутнов, У. Изард, И. Ильин, К. Линч, П. Мерлен, А. Тетиор, М. Фуджита, П. Холл и другие. Следует отметить высокий уровень разработанности вопросов функционирования региональных экономических систем в экономической науке. Наряду с этим, исследования в области регионального управления не теряют своей актуальности, вызванные необходимостью поиска новых инструментов воздействия в динамичной среде [1, 2].

Современные подходы к управлению регионом заключаются в выборе приоритетных направлений развития территории и создания условий для привлечения инвестиций. При этом достаточное внимание уделяется перспективе реализации выбранных направлений, однако, по мнению авторов, не учитываются возможности населения региона, недостаточно исследованы условия и факторы эффективного использования привлекаемых инвестиций [3, 4].

В этой связи авторами введено в экономический оборот понятие региональный темп жизни. Сущность регионального темпа жизни сводится к интенсивности процессов жизнедеятельности на территории региона. Темп жизни отдельного человека представляет собой частоту или скорость смены событий в его жизни, в свою очередь средний темп жизни жителей территории определяет темп жизни региона в целом.

Если все события в данном случае рассматривать синонимично понятию действия (движения, перемещения, обработка, трансформация), то их совокупность формирует потоки. В зависимости от объекта в жизни человека можно выделить три потока: физический, информационный и финансовый. Физический поток, объектом которого выступает сам человек, представляет собой перемещения человека. Передвижения могут

быть пешими и транспортными (личный или общественный транспорт). Информационный поток, объектом которого является информация, представляет собой сведения, которые человек способен воспринимать самостоятельно или с помощью специальных устройств, как факты, вне зависимости от их формы. Финансовый поток, объектом которого выступают денежные средства, является экономическим результатом темпа жизни человека.

Отслеживание начала и конца действия, то есть выделение события в рамках потока проблематично, что приводит к необходимости оценивать темп жизни посредством учета затрачиваемых физических, умственных и психоэмоциональных сил. В этом случае скорость смены событий напрямую зависит от объема сил, затрачиваемых на конкретное событие (чем выше нагрузка, тем меньше скорость), а однотипность событий в жизни людей позволяет перейти к понятию интенсивность потоков (количество перемещений в единицу времени, объем информации в единицу времени). Таким образом, интенсивность физического и информационного потока определяют темп жизни человека [5].

Исследование динамики регионального темпа жизни позволило выявить его влияние на социально-экономическое развитие территорий [6], что обосновывает возможность его использования в качестве инструмента управления социально-экономическими процессами региона. Предложенная авторами методика выбора инструментов управления региональным темпом жизни является универсальной и может быть использована как для группы стран, так и для группы регионов внутри страны. Апробация методики на примере регионов Республики Беларусь в настоящее время невозможна, ввиду отсутствия учета отдельных показателей в разрезе регионов и необходимого объема статистических данных. В качестве объектов апробации методики определена группа регионов макроуровня - страны с малой открытой экономикой за период 1998-2019гг.

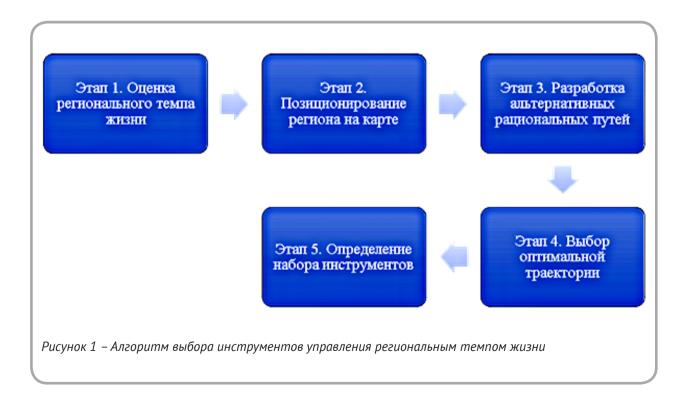
Методика выбора инструментов управления региональным темпом жизни

Внедрение нового показателя в модели систем регионального развития требует наличия возможности управления новым инструментом.

Решение данной задачи привело к необходимости создания методического обеспечения управления региональным темпом жизни.

С этой целью авторами разработана методика, которая позволяет осуществить выбор типологической группировки факторов, воздействие которых приводит к изменению регионального темпа жизни в соответствии с целевыми установками (рисунок 1).

Суть первого этапа «Оценка регионального темпа жизни» заключается в определении индекса регионального темпа жизни на основе авторской методики [5]. Задачей исследования явилось упорядочение конечного множества объектов, каждый из которых описывается одинаковым набором признаков при наличии фиксированной совокупности наблюдений, позволяющих измерять значения признаков из заданного набора для каждого объекта. В качестве объектов рассматриваются регионы (в том числе макроуровня); в качестве совокупности наблюдений – временной интервал 1998-2019 гг.; в качестве признаков – показатели официальной статистики и вычисляемые на их основе композитные факторы – интенсивности информационного и физического потоков регионов. Разработанный показатель регионального темпа жизни представляет собой интеграцию частных критериев, выделенных из исходного множества показателей интенсивности физического и информационного потоков. Сформированный набор показателей включает: количество пассажирских мест и коек внутрирегионального транспорта в расчете на душу населения; пассажирооборот внутреннего транспорта в расчете на душу населения; количество автотранспорта в расчете на душу населения; доля площади городских земель; плотность дорог на κm^2 ; конечное потребление электроэнергии транспортным сектором в расчете на душу населения; доля общей площади застройки; трафик телефонных разговоров в расчете на душу населения; количество аэропортов в расчете на душу населения; конечное потребление электроэнергии в расчете на душу населения; поставки моторного топлива в расчете на душу населения; трафик дорожного движения; доля населения с ежедневным выходом в интернет; конечное потребление электроэнергии в жилых домах в расчете на душу населения; количество мобильных абонентов в расчете на душу населения; количество телефонных линий в расчете на душу населения; количество интернет-пользователей в расчете на душу населения; доля лиц исполь-



зующих интернет для социальных сетей; доля физических лиц, пользующихся интернетом; количество абонентов фиксированного широкополосного доступа к интернету в расчете на душу населения. Для определения частных критериев и соответствующих весовых коэффициентов в агрегированном показателе используется факторный анализ (метод главных компонент).

Результатом первого этапа является получение расчетного значения регионального темпа жизни исследуемого объекта. Диапазон принимаемых значений показателя варьируется от 0 до 3. Минимальная и максимальная граница определены практическими расчетами с применением многомерного статистического анализа [5].

Полученное значение темпа жизни позволяет оценить его эффективность, на основе рациональности использования регионального темпа жизни объекта исследования и его сбалансированности, путем сопоставления с ключевыми, по мнению авторов, социально-экономическими показателями развития регионов. С этой целью разработаны две матрицы. Первая отражает рациональность/иррациональность использования регионального темпа жизни, определяет при-

надлежность региона квадрату на пересечении значений темпа жизни и валового внутреннего продукта (валового регионального продукта). Вторая матрица показывает сбалансированность темпа жизни региона, определяет принадлежность региона квадрату на пересечении значений темпа жизни и ее продолжительности.

Суть второго этапа «Позиционирование региона на карте» заключается в определении текущей позиции региона на карте совмещенных матриц (рисунок 2).

На карте выделены интервалы значений регионального темпа жизни и валового внутреннего продукта на душу населения. Квадраты на пересечениях интервалов характеризуются уровнем продолжительности жизни, который выделен цветом с усилением затемнения в области самого высокого значения. Зона недопустимых значений темпа жизни в регионе, нахождение в которой отрицательно сказывается на продолжительности жизни населения, является опасной (выделена штрихованием). Граница зоны недопустимых значений устанавливается с помощью эконометрического моделирования, определяется отрицательным влиянием регионального темпа жизни (x) на результирующий

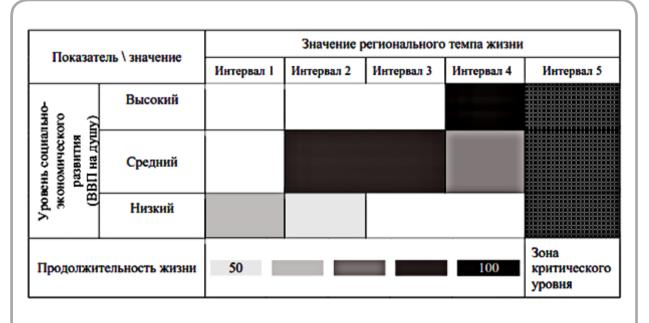


Рисунок 2 – Карта «Валовой внутренний продукт – Региональный темп жизни»

показатель – продолжительность жизни населения (*y*). Набор остальных экзогенных переменных в модели зависит от функциональных особенностей выборочной совокупности.

Определение эффективного текущего положения региона строится на соотношении его показателей (региональный темп жизни, валовой внутренний продукт) с достигнутым и возможным уровнем продолжительности жизни в регионе. Формирование интервалов значений проводится с помощью эконометрических методов, построенные модели способствуют оценке влияния регионального темпа жизни на результирующие показатели.

Результатом второго этапа является определение квадрата на карте совмещенных матриц, соответствующего текущим социально-экономическим показателям региона.

Идентификация положения объекта исследования помогает увидеть возможные направления развития, которые позволят улучшить позицию региона на карте.

С этой целью необходимо определить все альтернативные пути перемещения региона, выделить целесообразные, способствующие перемещению региона в квадрат с более высокими значениями индикативных социально-экономических показателей.

Суть третьего этапа «Разработка альтернативных рациональных путей» состоит в разработке возможных направлений улучшения позиционирования региона. При перемещении региона в целесообразные квадраты можно выделить три направления движения (рисунок 3):

- вертикальное перемещение;
- диагональное перемещение;
- горизонтальное перемещение.

При вертикальном перемещении источником развития является рост объема инвестиций, при достаточном уровне регионального темпа жизни. Диагональное перемещение предусматривает синхронное наращивание объема инвестиций и уровня регионального темпа жизни. Горизонтальное перемещение предполагает ускорение/замедление регионального темпа жизни, без инвестиционных вложений.

Результатом третьего этапа является выявление всех возможных альтернативных путей улучшения позиционирования региона на карте.

Суть четвертого этапа «Выбор оптимальной траектории» сводится к определению одной оптимальной траектории улучшения позиций

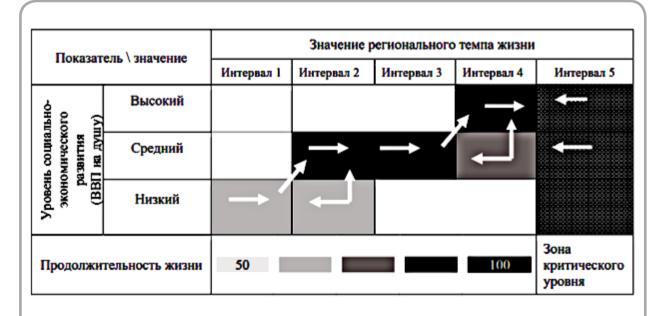


Рисунок 3— Траектории перемещений на карте «Валовой внутренний продукт— Региональный темп жизни»

региона из альтернативных.

Оптимальная траектория подразумевает наличие критерия оптимальности и системы ограничений его достижения. Критерием оптимальности при выборе траектории является потенциальное значение показателя продолжительности жизни в регионе. Приоритетом выделены траектории, которые способствуют достижению более высокого показателя продолжительности жизни. Система ограничений представлена наличием/отсутствием инвестиционных ресурсов и достаточным/недостаточным для их освоения темпом жизни.

Инвестиции играют важную роль в системе регионального развития. Зачастую наличие именно этого ресурса нивелирует потребность поиска иных инструментов. Однако авторы отмечают, что достаточный объем инвестиционных ресурсов при недостаточном региональном темпе жизни приводит к невозможности их освоения и снижению эффективности. В то же время слишком высокий темп жизни территории без инвестиционных вложений не способствует устойчивому росту валового внутреннего продукта, что, безусловно, отражается на продолжительности жизни населения региона.

Алгоритм выбора оптимальной траектории предполагает последовательный анализ «на оптимальность» всех выявленных рациональных траекторий. Наличие потребности в инвестициях требует измерения возможности инвестиционных вложений и достаточного уровня темпа жизни для их освоения:

- наличие ресурсов и достаточный темп жизни для их освоения определяет оптимальной траекторию вертикального перемещения;
- наличие ресурсов и недостаточный темп жизни для их освоения определяет оптимальной траекторию диагонального перемещения;
- отсутствие ресурсов, как и отсутствие потребности в ресурсах указывает на необходимость горизонтального перемещения;

Результатом четвертого этапа является определение оптимального пути достижения целевых установок.

Выбранный оптимальный путь требует наличия инструментов, с помощью которых реализуется перемещение.

Суть пятого этапа «Определение набора

инструментов» заключается в определении набора инструментов, необходимых для изменения темпа жизни в рамках выбранного пути.

Направление траектории перемещения формирует типологическую группировку (набор) инструментов управления темпом жизни.

Вертикальное перемещение предусматривает применение набора инструментов, удерживающего региональный темп жизни на достигнутом уровне. Снижение темпа жизни в таком случае будет говорить о невозможности освоения вложенных средств и не позволит реализовать перемещение. При этом рост темпа жизни приведет к попаданию в критическую зону, что, несомненно, отразится на продолжительности жизни и не приведет к достижению целевого квадрата.

Диагональное перемещение предусматривает применение набора инструментов, способствующего ускорению регионального темпа жизни при одновременном инвестировании. Такого рода перемещение требует контроля ускорения, что подразумевает наращивание значений показателя с изменением его структуры.

Горизонтальное перемещение предусматривает применение набора инструментов для ускорения/замедления регионального темпа жизни. В большинстве случаев горизонтальное перемещение достигается без изменения структуры показателя.

Таким образом, можно выделить пять типологических групп инструментов изменения регионального темпа жизни:

- набор инструментов, обеспечивающий рост показателя без изменения структуры;
- набор инструментов, обеспечивающий рост показателя с изменением структуры. Подразумевает перераспределение значений информационной и физической компонент, то есть управление темпом жизни будет сводиться к стимулированию роста не всего показателя, а выделенной компоненты;
- набор инструментов, обеспечивающий снижение показателя без изменения структуры;
- набор инструментов, обеспечивающий снижение показателя с изменением структуры. Подразумевает перераспределение значений информационной и физической компонент, то есть управление темпом жизни будет сводиться

к стимулированию снижения значения не всего показателя, а выделенной компоненты;

– набор инструментов, обеспечивающий фиксацию достигнутого значения показателя.

Результатом пятого этапа является определенный набор инструментов управления региональным темпом жизни, который способствует развитию территории в выбранном направлении.

Сформированная в виде эконометрической модели зависимость регионального темпа жизни от четырех групп факторов [6], применительно к каждому объекту исследования, позволит выявить конкретные для территории инструменты воздействия. Среди таких инструментов могут быть: регулирование режимов работы культурно-развлекательных/массовых объектов; ограничение/стимулирование движения транспорта в особых зонах; снижение тарифов мобильной связи; стимулирование рождаемости; популяризация здорового образа жизни; развитие объектов инфраструктуры; поддержка «темповых» производств; контроль тарифов на определенный перечень услуг; согласованное проведение мероприятий и другое.

Результаты апробации методики

Основной задачей территорий в стремлении к повышению эффективности региональных экономических систем является поиск модели развития региональной экономики, позволяющей максимально использовать имеющийся потенциал.

Моделирование региональной экономики включает выбор ключевых количественных показателей экономики регионов, с выявлением тенденций их изменения и факторов, которые определяют их дальнейшее развитие. Использование регионального темпа жизни в качестве фактора развития регионов может послужить базой для совершенствования систем управления регионом.

Применение показателя региональный темп жизни в моделировании экономики регионов формирует новую компоненту потенциала территории, а также позволяет оценить готовность региона к освоению дополнительно привлекаемых ресурсов.

Апробация методики выбора инструментов управления региональным темпом жизни проводилась на примере группы стран с малой открытой экономикой (Армения, Австрия, Азербайджан, Беларусь, Болгария, Хорватия, Чехия, Дания, Эстония, Грузия, Греция, Венгрия, Ирландия, Литва, Латвия, Молдова, Португалия, Румыния, Сербия, Словакия, Словения, Швейцария). Результаты оценки регионального темпа жизни Республики Беларусь с расчетом значений информационной и физической компонент за весь период исследования представлены в таблице 1 [7, 8].

Проведенная оценка регионального темпа жизни позволила выстроить матрицы с использованием показателей валового внутреннего продукта и ожидаемой продолжительности жизни и определить позицию региона на карте. Интервалы значений определены на основе следующих моделей:

$$y = -9772,22 + 19110,54 \times x_1 + 2,98 \times x_2 - 175,75 \times x_3,(1)$$
 (20,009) (21,008) (-2,67)

Таблица 1 – Значения регионального темпа жизни Республики Беларусь											
Значение Период	1998	2000	2002	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Региональный темп жизни	0,47	0,48	0,52	0,55	0,60	0,64	0,74	0,82	0,93	1,08	1,11
Интенсивность информационного потока	0,39	0,45	0,49	0,56	0,73	0,89	1,23	1,55	1,99	2,52	2,68
Интенсивность физического потока	1,15	1,14	1,24	1,27	1,24	1,20	1,14	1,06	0,95	0,85	0,77

где \boldsymbol{y} – валовой внутренний продукт в расчете на душу населения; \boldsymbol{x}_1 – индекс регионального темпа жизни; \boldsymbol{x}_2 – валовое накопление основного капитала; \boldsymbol{x}_3 – уровень безработицы.

$$y = 66,091 + 6,28 \times x_1 + \theta, \ \theta\theta 3891 \times x_2 - \theta, \theta 7 \times x_3, (2)$$

где $m{y}$ – ожидаемая продолжительность жизни; $m{x}_1$ – индекс регионального темпа жизни; $m{x}_2$ – валовое накопление основного капитала; $m{x}_3$ – уровень инфляции.

В результате синтеза матриц сформированы семь функциональных квадратов на карте. Идентификация положения Республики Беларусь демонстрирует перемещение из первого во второй квадрат низкого уровня валового внутреннего продукта за весь период исследования. Оптимальной траектории соответствует вертикальное

перемещение. В связи с этим рекомендованы две типологические группы инструментов изменения регионального темпа жизни:

- в случае наличия инвестиционных ресурсов набор инструментов, обеспечивающий фиксацию достигнутого значения показателя;
- в случае отсутствия инвестиционных ресурсов набор инструментов, обеспечивающий снижение показателя без изменения структуры.

Предложенная методика выбора инструментов управления региональным темпом жизни доказывает возможность регулирования нового показателя, его использования для достижения целевых значений ключевых социально-экономических показателей регионального развития. Методическое обеспечение категории позволяет идентифицировать положение объекта исследования среди аналогичных регионов и разработать рекомендации улучшения его позиций, опираясь на выделенный набор инструментов управления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Матвеев, Ю. В., Степанова, Т. Е., Матвеев, К. Ю. (2017), Региональное развитие как инновационно-инвестиционный процесс институционального управления, *Креативная экономика*, 2017, № 11 (5), С. 637–658.
- 2. Леонидова, Е. Г. (2020), Развитие региона на основе активизации внутренних факторов, *Уровень жизни населения регионов России*, 2020, Т. 16, № 3, С. 70–81.
- 3. Казакова, С. М., Климанов, В. В. (2018), Зарубежный опыт применения дифференцированного подхода в регулировании регионального развития, *Региональная экономика*. *Юг России*, 2018, № 4, С. 55–68.
- 4. Молчан, А. С. (2011), Формирование точек экономического роста как базовая экономическая стратегия развития и модернизации региональной экономики, Журнал КубГАУ,

REFERENCES

- 1. Matveev, Yu. V., Stepanova, T. E., Matveev, K. Yu. (2017), Regional development as an innovative and investment process of institutional management [Regional'noe razvitie kak innovacionno-investicionnyj process institucional'nogo upravleniya], *Kreativnaya ekonomika Creative economy*, 2017, № 11 (5), pp. 637–658.
- 2. Leonidova, E. G. (2020), Development of the region based on the activation of internal factors [Razvitie regiona na osnove aktivizacii vnutrennih faktorov], *Uroven' zhizni naseleniya regionov Rossii The standard of living of the population of the regions of Russia*, 2020, T. 16, № 3, pp. 70–81.
- Kazakova, S. M., Klimanov, V. V. (2018), Foreign experience of using a differentiated approach in the regulation of regional development [Zarubezhnyy opyt primeneniya differentsirovannogo podkhoda v regulirovanii

2011, № 6, C. 54-59.

- 5. Карпенко, Е. М., Рассеко, Ю. Ю. (2022), Построение интегрального показателя оценки регионального темпа жизни с использованием многомерных статистических методов, *Вестник Полоцкого государственного университета*, 2022, Сер. Д, Экономические и юридические науки, № 1 (244), С. 48–54.
- 6. Рассеко, Ю. Ю., Карпенко, Е. М. (2022), Оценка влияния темпа жизни в регионе на его социально-экономическое развитие, *Журнал Белорусского государственного университета*. Экономика, 2022, № 1, С. 86–93.
- 7. Беларусь в цифрах, Минск, 2021, 71 с.
- 8. Экономическая статистика [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://knoema.com/atlas/topics/Economy. Дата доступа: 26.07.2021.

- regional'nogo razvitiya], *Regional'naya ekono-mika. YUg Rossii Regional economy. South of Russia*, 2018, № 4, pp. 55-68.
- 4. Molchan, A. S. (2011), Formation of points of economic growth as a basic economic strategy for the development and modernization of the regional economy [Formirovanie tochek ekonomicheskogo rosta kak bazovaya ekonomicheskaya strategiya razvitiya i modernizacii regional'noj ekonomiki], *Zhurnal KubGAU − Journal KubGAU*, 2011, № 6, pp. 54–59.
- 5. Karpenko, E. M., Rasseko, Yu. Yu. (2022), Construction of an integral indicator for assessing the random pace of life using multivariate statistical methods [Postroenie integral'nogo pokazatelya ocenki regional'nogo tempa zhizni s ispol'zovaniem mnogomernyh statisticheskih metodov], *Vestnik Polockogo gosudarstvennogo universiteta Vestnik of Polotsk State University*, Ser. D, Ekonomicheskie i yuridicheskie nauki, 2022, № 1 (224), pp. 48–54.
- 6. Rasseko, Yu. Yu., Karpenko, E. M. (2022), Assessment of the pace of life in industry for its socio-economic development [Ocenka vliyaniya tempa zhizni v regione na ego social'no-ekonomicheskoe razvitie], Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta, Ekonomika Journal of the Belarusian State University. Economy, 2022, № 1, pp. 86–93.
- 7. *Belarus' v tsifrakh* [Belarus in numbers], Minsk, 2021, 71 p.
- 8. Ekonomicheskaya statistika [Economic statistics], (2021), available at: https://knoema.com/atlas/topics/Economy (accesed 26.07.2021).

Статья поступила в редакцию 09. 05. 2022 г.

СТРАТЕГИЯ «УМНОЙ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ» РЕГИОНОВ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ЕВРОПЕЙСКИЙ ОПЫТ

"SMART SPECIALIZATION" STRATEGY OF REGIONS: THEORETICAL ASPECTS AND EUROPEAN EXPERIENCE

УДК 658.012.4

О.М. Шерстнева*, Г.А. Яшева

Витебский государственный технологический университет

https://doi.org/10.24412/2079-7958-2022-1-214-228

O. Sherstneva*, G. Yasheva

Vitebsk State Technological University

РЕФЕРАТ

ИННОВАЦИИ, КЛАСТЕРЫ, КОНКУРЕНТНОЕ ПРЕИМУЩЕСТВО, РЕГИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ, СТРАТЕГИЯ «УМНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ»

Столкнувшись с серьезными социально-экономическими последствиями на микро- и макроуровне, глобальными вызовами и растущей конкуренцией, Европейский Союз стремится повысить социально-экономическое развитие своих территорий. Для достижения стратегических целей укрепления и развития стран Европы особое внимание уделяется различным инструментам регионального развития, в частности стратегии «умная специализация». Стратегия «умной специализации», использующаяся в странах Европы, внедряется с учетом передовых достижений научно-технического прогресса, способствующих решению ключевых проблем в различных видах социально-экономической деятельности. Ценность данного направления заключается в активном использовании рыночных возможностей интеграции для роста конкурентоспособности территориальных экономических систем и выбора оптимальных траекторий инновационного развития приоритетных отраслей промышленности и сферы услуг.

Целью данного исследования является развитие теоретических основ — стратегии «умной специализации» на базе европейского опыта. Для достижения данной цели решались следующие задачи: изучение зарубежного опыта регионов, использующих стратегию «умной специализации»; исследование сущности стратегии «умной

ABSTRACT

INNOVATIONS, COMPETITIVE ADVANTAGE, REGIONAL DEVELOPMENT, CLUSTERS, SMART SPECIALIZATION STRATEGY

The article studies the European experience of regions where the strategy of "smart specialization" is implemented; main priorities are defined. The theoretical foundations of the "smart specialization" strategy have been developed, including: the conceptual apparatus (smart specialization strategy, smart business system, smart-cooperation); distinctive characteristics, basic principles of strategy development, common features and differences between the cluster strategy and the strategy of "smart specialization". The results obtained are the conceptual basis for developing methods for implementing the "smart specialization" strategy in the socio-economic development of regions.

^{*} E-mail: olga sherstneva@mail.ru (O. Sherstneva)

специализации»; определение характеристики стратегии «умной специализации».

Теоретической и методологической основой исследования явились научный труды отечественных и зарубежных ученых в области формирования стратегии «умной специализации». Методическую базу исследования определили общенаучные методы познания, статистические методы исследования, принципы и методы системного подхода.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что использование стратегии «умной специализации» регионов обеспечит идентификацию приоритетных сфер для инвестирования на региональном уровне путем определения сильных сторон и конкурентных преимуществ каждого региона в определенных отраслях экономики, таким образом, повысит эффективность использования собственных и привлеченных финансовых ресурсов регионов за счет их сосредоточения на развитии инноваций в потенциально перспективных видах экономической деятельности.

ВВЕДЕНИЕ

Столкнувшись с серьезными социально-экономическими последствиями на микро- и макроуровне, глобальными вызовами и растущей конкуренцией, Европейский Союз стремится повысить социально-экономическое развитие своих территорий. Для достижения стратегических целей укрепления и развития стран Европы особое внимание уделяется различным инструментам регионального развития, в частности стратегии «умная специализация». Название стратегии произошло от английского – Regional Innovation Strategies of Smart Specialization, в мире широко используется аббревиатура – RIS3.

Стратегия RIS3 появилась как продолжение и развитие стратегии устойчивого развития. Как отмечалось в докладе «Европа 2020: стратегия умного, устойчивого и инклюзивного роста», развивающиеся страны еще недостаточно интегрированы в процессы глобализации во многом из-за низких показателей инновационной активности в регионах. Инвестиции в рамках стратегии «умной специализации» способны придать

импульс развитию региональной экономики [1].

Особый интерес для Республики Беларусь представляет опыт европейской политики регионального развития, сформированный в рамках реализации стратегии «умной специализации», доказавший свою эффективность в развитии региональных инновационных систем в странах Европейского Союза. Основные положения регионального развития в Республике Беларусь сформулированы в действующей Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2030 года, в Программе социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021-2025 годы. Новые подходы региональной политики закладываются в разрабатываемых сегодня Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2035 года (НСУР-2035). Проектом документа НСУР-2035 обозначается, что стратегическая цель регионального развития - создать в регионах равные возможности для достижения высокого уровня и качества жизни населения на

основе реализации личностного потенциала и удовлетворения потребностей граждан, рационального размещения производительных сил, эффективного, сберегающего и развивающего использования ресурсов. Основные усилия будут сконцентрированы на обеспечение роста конкурентоспособности и устойчивости региональных экономик, укрепление экономического каркаса страны за счет формирования сильных территориально-хозяйственных комплексов [7].

На сегодняшний день в научной литературе сформировался хороший научный задел исследований инновационной среды, среди которых стоит отметить работы А.С. Бендля, Камагни, М. Кастельса, О.В. Конаныхиной, Е.Ю. Куницына, Р. Куука, К. Моргана, Д.С. Нуриевой, Р.Л. Оленева, И.М. Подмолодиной, В.В. Ромашина, А.Ф. Суховея, В.М. Трофимовой, Л.В. Шабалтиной и других ученых.

Вопросы теории и методологии развития стратегии «умной специализации» рассматривались в работах таких зарубежных исследователей, как Antonelli C. [2], Scellato G. [3], Asheim B., Grillitsch M., Trippl M. [4], Crespi F. [5], Dominique Foray, Mongeau C., & Scellato G., российских – Л. К. Агаева, В. А. Баринова, Г. Я. Белякова, О. В. Иншакова, С. П. Земцова, Е. Н. Королева, С. Д. Проскурнина [6], Г. А. Хмелева и других.

Вместе с тем еще недостаточно определены сущностные характеристики и основные элементы стратегии «умной специализации». Таким образом, положительный европейский опыт использования инновационных региональных стратегий и недостаточная разработанность теоретических аспектов стратегии «умной специализации» предопределили цель и задачи исследования.

Целью данного исследования является развитие теоретических основ – стратегии «умной специализации» на базе европейского опыта.

Задачи:

- рассмотреть зарубежный опыт регионов, использующих стратегию «умной специализации»;
- исследовать сущность стратегии «умной специализации»;
- дать характеристику стратегии «умной специализации».

Зарубежный опыт регионов, использующих стратегию «умной специализации»

Стратегия «умной специализации» была разработана группой независимых экспертов с целью устранения трансатлантического инвестиционного пробела в научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах (НИОКР) Европейских регионов [26].

Стратегия «умной специализации» регионов рассматривается в Европе как способ эффективного управления развитием регионов, основанный на децентрализованном, индивидуализированном подходе к обеспечению экономического роста. Некоторые выводы об опыте реализации «умной специализации» представлены на сайте [8], где отмечается, что инвестиции в инновации должны опираться на потенциал и сильные стороны региона, «а не финансировать проекты без разбора и рисковать дублированием и фрагментацией инвестиций». Поэтому, чтобы получить целевое финансирование, региону необходимо сформировать и обосновать свою умную специализацию.

Для реализации стратегии «умной специализации» в Европе создан ряд инструментов, важнейший из них - платформа умной специализации [8] (Smart Specialization Platform), представляющая собой, по существу, хранилище данных и информации, определяющие интеллектуальные специализации регионов, которые могут быть использованы для выбора приоритетов развития и сотрудничества; к настоящему моменту на платформе уже зарегистрировано более 180 регионов из 19 стран Европы, а также 22 не европейских региона. В специальном табло региональных инноваций сопоставляются регионы по уровню эффективности инноваций (рисунок 1). На реализацию стратегии в европейских регионах за период 2014-2020 гг. выделено более 40 млрд евро, а к концу 2021 года прогнозировался результат, измеряемый в появлении 15 тысяч новых видов продукции, 140 тысяч стартапов и 350 тысяч рабочих мест [8].

Рассмотрим опыт некоторых Европейских стран по внедрению стратегии «умной специализации».

Румыния. Основные приоритеты развития стратегии «умной специализации» регионов Румынии представлены в таблице 1.

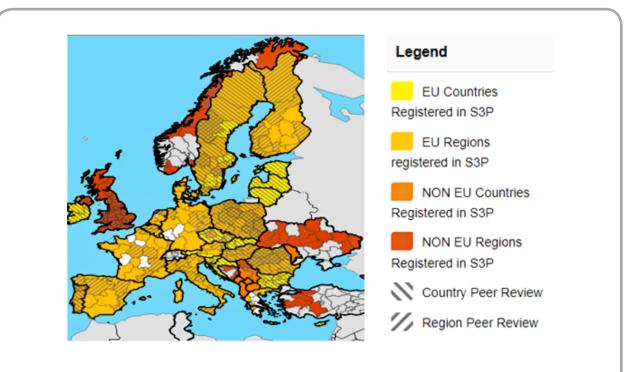


Рисунок 1 – Зарегистрированные страны и регионы на платформе S3

Источник: [8].

В Западном регионе Румынии стратегия «умной специализации» подчеркивает роль инкубаторов и других структур поддержки бизнеса в развитие предпринимательства и создание инновационных компаний в цифровом секторе где регион сохраняет конкурентное преимущество. Европейский фонд регионального развития поддержал преобразование приходящей в упадок промышленной зоны в центр, поощряющий цифровое развитие и творчество. Стартап в Timişoara создал инкубатор, посвященный молодым выпускникам, желающим начать бизнес в сфере цифровых технологий. Молодые предприниматели получают материально-техническую поддержку, а также такие услуги, как консультации и бухгалтерский учет. Этот проект интегрирован в растущую ИТ-индустрию в Западном регионе Румынии.

Польша. Основные приоритеты развития стратегии «умной специализации» регионов Польши представлены в таблице 2.

Подкарпатский регион славится своей Авиационной долиной, кластером, объединяющим большую часть авиационной промышленности Польши. Чтобы лучше связать академический сектор с региональной промышленностью, Авиационный учебный центр в Жешуве в Технологическом университете был модернизирован и расширен с помощью Фондов ЕС.

Рассматривая общие характеристики указанных интеллектуальных специализаций в польских регионах, можно отметить, что наиболее популярные специализации – ИКТ и мультимедиа – были выбраны Долнославским и Великопольским регионами. Медицина и оздоровительный туризм были определены как часть региональной инновационной политики в Долнославском, Любуском и Западнопоморском регионах. В регионах Долнославском, Любуском и Опольском были внедрены стратегии «умной специализации» в области здорового питания. В свою очередь, биоэкономика была выбрана в Долнославском, Любуском и Западнопоморском. Опольский регион сосредоточил свою региональную политику на энергетике, включая возобновляемые источники энергии. Машиностроение и металлообработка стали еще одной популярной специализацией, которую выбрали

Таблица 1 – Приоритеты развития стратегии «умной специализации» регионов Румынии Направление приоритета Описание Интернет будущего, технологии разработки программного обеспечения, Анализ, управление и безопасность инструменты и методы. больших данных Высокопроизводительные вычисления и новые вычислительные модели Устойчивое развитие в лесном хозяйстве. Зоотехника, ветеринария, рыболовство и аквакультура. Новые продукты, практики, процессы и технологии в садоводстве. Устойчивое развитие полевых культур. Сельское хозяйство и биотехнологии Биотехнологии для агропродовольствия. Нанобиотехнология. Экологические и промышленные биотехнологии. Биоанализ Медицинские и фармацевтические биотехнологии. Оценка дженериков in vitro/in vivo. Системная, локальная и адресная доставка лекарственных средств и Медицина и фармотехника технологии оптимизации биофармацевтического и фармакокинетического профиля. Молекулярный дизайн, (био)синтез, полусинтез, высокоэффективный скрининг Оптимизация использования традиционных и нетрадиционных водных Повышение энергоэффективности ресурсов. конечного использования Замена критических материалов и функциональное покрытие. Интеллектуальные города Энергоэффективные технологии. Инновационные технологии, оборудование и технические системы для Техника нового поколения получения биоресурсов. Технологии очистки от загрязнений и повторного использования отходов Сервисные и технологические Улучшения благосостояния государственного сектора инновации Развитие инновационного Приложения безопасности пространства

Источник: [9].

Долнославский, Любуский, Опольский и Западнопоморский регионы. Бизнес-услуги, логистика и водное хозяйство представлены в Западнопоморском, в то время как умные специализации в химической и горнодобывающей промышленности были выбраны в Дольнославском регионе [11].

Результаты интеллектуального выбора «умной специализации» в польских регионах говорят о том, что они не смогли избежать имитационного подхода, то есть некоторые регионы имитировались другими, а области, подлежащие продвижению, были просто теми, которые были

определены ранее. Регионы пошли по безопасному пути, который принес успех другим, но не смог использовать свой собственный инновационный потенциал. Также можно видеть, что выбранные виды деятельности сосредоточены на наиболее популярных интеллектуальных специализациях (например, ИКТ, нанотехнологии, биотехнологии).

Центр-валь-де-луар, Франция. Стратегия «умной специализации» в регионе Центр-Валь-де-Луар помогла четко определить местные конкурентные активы: накопители энергии, биофармацевтика, косметика, экологическая

Направление приоритета	Описание
Природные ресурсы и управление отходами	Технологии добычи, переработки и использования природных росурсов, сокращения их потребления и повторного использования вторичного сырья в качестве материалов или источников энерги
Инновационные технологии и производственные процессы	Горизонтальный подход, ориентированный на передовые материалы, датчики и их сети, применение ИКТ, печатную, органическую и гибкую электронику, автоматизацию и робототехнику, фотоник творческие технологии и инновационные морские технологии
Устойчивая энергия	Интеллектуальное и энергоэффективное строительство, высокоэффективные, низкоэмиссионные и интегрированные схемы производства, хранения, передачи и распределения энергии (умные сети) и устойчивые транспортные решения
Биоэкономика, включающая агропродовольствие, лесное хозяйство и окружающую среду	Инновационные биотехнологические технологии и продукты в агропродовольственной, фаст-фудной, химической и экологической инженерии
Здоровое общество	Новые медицинские и лекарственные средства и технологии их производства; диагностика заболеваний и передовые методы терапии

Источник: [10].

инженерия и туризм. Это помогло более целенаправленно поддерживать проекты с высоким потенциалом, таких как программа LAVOISIER, специализирующаяся на разработке и индустриализации материалов и систем, ориентированная на новые и возобновляемые виды энергии [13].

Финляндия. Финляндия сосредоточила внимание на стратегии «умной специализации» по развитию умных городов. Эта инициатива называется Six City. Стратегия, направленная на удовлетворение потребности в устойчивом развитии городов путем изучения стратегических преимуществ шести крупнейших финских городов: Хельсинки, Эспоо, Тампере, Вантаа, Оулу и Турку. Два пилотных проекта, финансируемых EC, уже запущены: автобусы-роботы SOHJOA и Климатические улицы (Climate Streets). SOHJOA разрабатывает устойчивые интеллектуальные транспортные решения, уже с электрическими автобусами работает в Хельсинки. Climate Streets разрабатывает и тестирует решения для сокращения выбросов парниковых газов и уровня энергопотребления, в сотрудничестве с местным бизнесом, владельцами недвижимости, жителями и администрацией города в сфере ЖКХ и транспорта.

Экстремадура, Испания. В Эстремадуре, Испания, местное производство сыра La Torta del Casar при активном участии фермеров, пастухов и других местных субъектов превратилось в настоящий интеллектуальный актив специализации. В результате этого партнерства Местная инициативная группа по сельским разработкам Tajo-Salor-Almonte позволила выявить слабые места в производственной системе и разработать решения для их преодоления. Эти обмены также привели к созданию Фермерской школы XXI века и Пастушьей школы. Они направлены на то, чтобы стать как ценными партнерами, так и учебными курсами для фермеров и пастухов по использованию информационно-коммуникационных технологий, а также других технологических достижений в этой области.

Таким образом, благодаря успешной реализации стратегии «умной специализации» регионов во Франции появились кластеры инжиниринга и биофармацевтики [8], в Финляндии – проекты по устойчивому развитию «умных городов» [12], в Польше развилось партнерство образователь-

ных и промышленных организаций на основе кластера «Авиационная долина» [13], а в Румынии бывшие промышленные зоны превратились в центры цифрового развития и поддержи бизнеса [10]. Это позволило указанным странам повысить производительность экономики и уровень жизни населения.

В целом обобщение европейского опыта позволяет извлечь уроки, которые следует учесть при реализации инновационных стратегий в Республике Беларусь:

- необходимость учета региональной инновационной системы в RIS3 в межрегиональном и международном контекстах;
- тесное взаимодействие с бизнес-сообществом регионов;
- недопустимость тиражирования опыта эффективных регионов без учета местной специфики.

Сущность стратегии «умной специализации»

Термин «умный» (smart) по отношению к росту и развитию впервые был использован в стратегии «Европа 2020», определившей три ключевых приоритета развития Европейского Союза в ответ на серьезные структурные проблемы континента:

- smart growth или умный рост, основанный на знаниях и инновациях;
- sustainable growth или устойчивый рост, основанный на более ресурсоэффективной, зеленой и конкурентоспособной экономике;
- inclusive growth или инклюзивный рост, основанный на стимулировании развития экономики с высоким уровнем занятости, обеспечивающей экономическое, социальное и территориальное единство [14].

В Программе инноваций Европейского Союза инструментом достижения целей умного и устойчивого роста на региональном уровне были объявлены региональные стратегии «умной специализации» (regional innovation strategies of smart specialization, RIS3) [15], представляющие собой обоснованный выбор и финансирование из государственных и частных фондов сфер деятельности, позволяющих взаимодействием инновационной и предпринимательской деятельности создавать конкурентные преимущества.

Анализ научных экономических исследований показал, что «умная специализация» пред-

ставляется в работах исследователей как концепция и как стратегия. Тем не менее большинство авторов трактуют «умную специализацию» как стратегию инновационного развития территории. Систематизация подходов к трактованию «умной специализации» представлена в таблице 3.

Как следует из рассмотрения понятий, большинство рассматривают «умную специализацию» как концепцию использования преимуществ конкретного региона для обеспечения его устойчивого развития. В целях терминологических изысканий проведем анализ целей «умной специализации» региона (таблица 4).

Таким образом, теоретическое исследование позволило сделать следующие выводы:

- «умная специализация» это политика государства, направленная на обеспечение устойчивого развития региона/страны;
- отличие стратегии «умной специализации» от стратегии устойчивого развития в развитии и инвестировании в сильные (конкурентоспособные) сектора экономики региона;
- стратегия «умная специализация» базируется на взаимодействии трех стейкхолдеров власти, бизнеса, науки.

Развитие внешней среды, ее турбулентность, глобальные вызовы, а также новые возможности, которые предоставляет научно-техническая среда, все это оказывает влияние на методы развития. В частности, цифровизация экономики и общества, внедрение элементов Индустрии 4.0 способствуют созданию конкурентных преимуществ для субъектов хозяйствования и для региона. В контексте стратегии развития региона это подразумевает создание smart-бизнессистем и smart-кооперации.

Smart-бизнес-система представляет собой инновационный кластер, базирующийся на элементах Индустрии 4.0.

Соответственно, smart-кооперацию можно определить как форму совместного участия различных стейкхолдеров, заинтересованных в реализации потенциала современных информационных технологий с целью решения актуальных задач в рамках определенного сообщества [19].

Значение стратегии «умной специализации» регионов состоит в следующем:

- качественный рост - за счет поиска новых

Автор	Определение стратегии «умной специализации»
European	Подход, характеризующийся определением стратегических областей для вмешательства на
Commission	основе как анализа сильных сторон и потенциала экономики, так и процесса предпринима-
Commission	тельских открытий (EDP) с широким участием заинтересованных сторон
	Инновационная политическая концепция, основанная на принципе оценки приоритетов
Foray	инновационного развития региона и определения предпочтений некоторым технологиям,
	областям, группам компаний и их соответствующей финансовой поддержкой
Bosch,	Способ эффективного управления развитием регионов, основанный на децентрализованно
Vonortas	индивидуализированном подходе к обеспечению экономического роста
Radosevic,	Подход незавершенной новой политики в области промышленных инноваций, застрявшей
A. Curaj,	между ее экспериментальным характером и политическими и административными требо-
•	ваниями государственного управления, а также правилами финансирования. Это не только
R. Gheorghiu,	техническое упражнение в установлении приоритетов, но и процесс социально-политическ
I. Wade	го торга
P. Mccann ,	Разумный подход к специализации, основанный на ряде преимуществ для разработки
R. Ortega-Argilés	соответствующей инновационной политики с точки зрения региональной политики

Источник: составлено автором на основе [5, 7, 13, 14, 16].

A. Rainoldi

Таблица 4 – Оценка определений понятия «умная специализация»							
		Автор					
Характерные черты определений		Foray	Bosch, Vonortas	Radosevic, A. Curaj, R. Gheorghiu, I. Wade	P. Mccann, R. Ortega-Argilés	A. Rodriguez-Pose, M. Di Cataldo, A. Rainoldi	
Политика государства	+	+	+	+	+	+	
Нацеленность на развитие кластеров		_	_	-	_	+	
Нацеленность на рост конкурентоспособности		+	+	-	+	+	
Нацеленность на развитие инноваций		+		+	+	+	
Нацеленность на развитие малого и среднего бизнеса		+	+	+	+	+	
Нацеленность на экономическое развитие		+	+	+	_	+	
Нацеленность на социальное развитие		+		+	-	+	
Нацеленность на развитие кооперации		+	+	+	+	+	
Нацеленность на развитие потенциала региона		+	+	+	+	+	
Использование инструментов «Индустрии 4.0»		+	-	+	-	_	

Источник: составлено автором по [5, 7, 13, 14, 16].

возможностей региона;

- внедрение платформенных методов будет способствовать цифровой трансформации бизнеса и формированию smart-бизнес-систем на основе smart-кооперации стейкхолдеров, технологий и принципов Индустрии 4.0;
- развитие международных связей за счет интеллектуальной платформы умной специализации:
- повышение бренда региона и привлечение инвесторов;
- рост ВРП за счет повышения занятости, стимулирования потенциала саморазвития территорий, улучшение качества жизни и возможностей самореализации граждан в регионах.

Таким образом, с учетом теоретических разработок, накопленного практического опыта реализации стратегии «умной специализации» в странах ЕС, а также предпосылок внешней среды, можно определить сущность стратегии «умной специализации» как концепции развития региона на основе идентификации конкурентоспособных сфер/видов деятельности и стимулирования smart-бизнес-систем и smart-кооперации.

Характеристика стратегии «умной специализации»

Анализ стратегических документов Европейского Союза [20], нацеленных на разработку и реализацию региональных стратегий «умной специализации», позволяет выделить следующие ее особенности:

- 1) накопление критической массы и выбор приоритетов, на которых сосредоточены ограниченные ресурсы;
- 2) конкурентное преимущество за счет мобилизации исследователей и бизнеса;
- 3) развитие кластеров мирового уровня и межотраслевого сотрудничества с целью создания smart-бизнес-систем;
- 4) совместное лидерство бизнеса, вузов, государства и общественности в эффективных инновационных системах.

Успешная разработка и реализация стратегии «умной специализации» обязательно должна опираться на комплекс принципов, перечисленных в таблице 5.

К ключевым инструментам реализации «умной» стратегии относятся:

– кластеры (кластеры – основной горизонтальный инструмент реализации RIS3);

Принцип	Суть
Узкая специализация	Учет перспективных возможностей определенных видов экономической деятельности (место в глобальной специализации)
Инновационная направленность	Поиск уникальной специализации на основе: – идентификации и внедрения новых технико-технологических решений в определённых видах экономической деятельности; – учета инновационных возможностей регионов (учет местной специфики)
Диверсификация	Создание новых видов экономической деятельности
Открытость	Привлечение всех заинтересованных сторон к процессу разработки и реализации стратегии «умной специализации»: органы власти, бизнес, общественность
Дополняемость	Взаимосвязь науки, системы образования, производства, субъектов предпринимательства, органов местного самоуправления, общественных организаций
Паритетность	Максимальный учет интересов заинтересованных сторон при разработке и реализации стратегии «умной» специализации
Координация (вертикальная интеграция)	Согласованность планов и программ развития на местном \leftrightarrow региональном \leftrightarrow национальном уровнях

Источник: на основе [21].

- инновационная бизнес-среда для МСП;
- исследовательские инфраструктуры, центры компетенций и научные парки:
 - взаимодействие университетов и бизнеса;
 - цифровизация развития;
- ключевые поддерживающие технологии (микро/наноэлектроника, фотоника, нанотехнология, промышленная биотехнология, инновационные материалы и производственные системы 6 ключевых технологий для развития в Европе);
 - традиционные и креативные индустрии;
 - интернационализация;
 - инструменты финансовой поддержки;
- государственные закупки инновационной продукции;
 - зеленый рост;
 - социальные инновации.

Основным инструментом реализации стратегии «умной специализации» является кластер. В теории и практике регионального управления часто используют методы реализации кластерной политики. Эта ситуация вызывает необходимость более глубокого теоретического исследования понятийного аппарата, связанного с умной

специализацией. Проведенное теоретическое исследование позволило определить следующие сравнительные признаки и отличительные характеристики стратегии «умной специализации» от кластерной стратегии (таблица 6).

Вместе с тем обе концепции имеют общие черты. Общие черты кластерной политики и стратегии «умной специализации» состоят в следующем:

- 1. Нацеленность на производительности и инновациях как ключевых факторах конкурентоспособности.
- 2. Взаимодействие стейкхолдеров на основе «тройной спирали» государства, бизнеса и науки.

Таким образом, основополагающими элементами стратегии «умной специализации» являются: инновации; государственная поддержка; межрегиональное сотрудничество; взаимодействие государство-бизнес-наука; предпринимательская инициатива; диверсификация региональной экономики, инвестиции для развития высокотехнологичных и наукоемких отраслей специализации; уникальные ресурсы региона.

Таблица 6 – Сравнительные признаки и отличительные характеристики стратегии «умной специализации» от кластерной стратегии

Отличительные характеристики	Кластерная стратегия	Стратегия «умной специализации»
Объект	кластер	регион
Инструмент	кластер	smart-бизнес-система
Приоритет	кластеры относятся к более широкому кругу отраслей экономики	фокусируется на конкретных инновационных ресурсоемких секторах
Создание экосистемы	кластеры сами являются элементами инновационной экосистемы региона, кластеры не обязательно могут быть инновационными	базируется на экосистеме инновационного предпринимательства
Конечная цель	создание условий для повышения уровня конкурентоспособности национальной экономики посредством внедрения кластерной модели развития	укрепление региональной экономики и построение конкурентоспособной позиции на мировом рынке
Средства достиже- ния конечной цели	на основе создания цепочек ценностей	на основе идентификации приоритет- ных сфер для инвестирования

Источник: собственная разработка.

выводы

Актуальность внедрения стратегии «умной специализации» для Республики Беларусь состоит в неравномерности социально-экономического развития регионов и недостаточным для устойчивого развития использованием инновационного потенциала регионов.

Использование стратегии «умной специализации» регионов обеспечит идентификацию приоритетных сфер для инвестирования на региональном уровне путем определения сильных сторон и конкурентных преимуществ каждого региона в перспективных секторах экономики – таким образом, повысит эффективность использования собственных и привлеченных финансовых ресурсов регионов за счет их сосредоточения на развитии инноваций в потенциально перспективных smart-бизнес-системах.

Теоретическая значимость исследования обусловлена относительной неразработанностью сущностных характеристик и особенностей стратегии «умной специализации» в трудах отечественных исследователей, а также важностью исследования для разработки методов

и инструментов реализации стратегии «умной специализации» в Республике Беларусь. Для отечественной академической науки стратегия «умной специализации» является относительно новой.

Практическая значимость внедрения стратегии «умной специализации» для экономики Республики Беларусь заключается в увеличении доходов от экономической деятельности путем стимулирования потенциала саморазвития территорий, улучшение качества жизни и возможностей самореализации граждан в городской и сельской местности посредством smart-кооперации бизнеса, власти и науки. Создание системы формирования кластеров на основе «умной специализации» позволит повысить конкурентоспособность регионов для иностранных инвесторов посредством фокусировки на уникальных сферах каждого региона.

Материалы статьи могут быть использованы государственными органами управления и предприятиями для дальнейшей разработки и совершенствования стратегии устойчивого развития регионов Республики Беларусь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1. Europe 2020 (2022), A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth, available at: http://hdl.voced.edu.au/10707/89925 (accesed 14.05.2022).
- 2. Antonelli, C., Crespi, F., Mongeau, C., & Scellato, G. (2016), The economics of technological congruence and the economic complexity of technological change, *Structural Change and Economic Dynamics*, 38, pp. 15–24.
- 3. Scellato, G. (2016), Knowledge composition, Jacobs externalities and innovation performance in European regions, *Regional Studies*, 51(11), available at: https://doi.org/10.1080/00343404. 2016.1217405 (accesed 12.05.2022).

REFERENCES

- 1. *Europe 2020* (2022), A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth, available at: http://hdl.voced.edu.au/10707/89925.
- 2. Antonelli, C., Crespi, F., Mongeau, C., & Scellato, G. (2016), The economics of technological congruence and the economic complexity of technological change, *Structural Change and Economic Dynamics*, 38, pp. 15–24.
- 3. Scellato, G. (2016), Knowledge composition, Jacobs externalities and innovation performance in European regions, *Regional Studies*, 51(11), available at: https://doi.org/10.1080/00343404. 2016.1217405 (accesed 12.05.2022).
- 4. Trippl, M. (2017), Smart specialization as an innovation-driven strategy for economic

- 4. Trippl, M. (2017), Smart specialization as an innovation-driven strategy for economic diversification: Examples from scandinavian regions, In Advances in the Theory and Practice of Smart Specialization, *Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*, 2017, pp. 73–97.
- 5. Dominique Foray (2014), "From smart specialization to smart specialization policy," *European Journal of Innovation Management*, 17:4, pp. 492–507.
- 6. Белякова Г. Я., Проскурнин, С. Д. (2016), Умная специализация стратегия устойчивого развития регионов, *European Social Science Journal*, 2016, № 10, С. 30–36.
- 7. Национальная стратегия устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 года, режим доступа: https://economy.gov.by/uploads/files/ObsugdaemNPA/NSUR-2035-1.pdf (дата доступа 10.03.2022).
- 8. Registered countries and regions in the S3 Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/where-we-are (accesed 12.04.2022).
- Romania Smart Specialization Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/ region-page-test/-/regions/RO (accesed 12.05. 2022).
- 10. Poland Smart Specialization Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/region-page-test/-/regions/PL (accesed 14.04. 2022).
- 11. Smart Specialization as a Strategy for Implementing the Regional Innovation Development Policy-Poland Case Study, available at: https://Downloads/sustainability-12-07986.pdf (accesed 12.04.2022).
- 12. In Industrial Transition (2018), *Project Leaflet by Directorate-General for Regional and Urban Policy. Brussels: European Commission*, 2018.

- diversification: Examples from scandinavian regions. In Advances in the Theory and Practice of Smart Specialization, *Elsevier: Amsterdam, The Netherlands*, 2017, pp. 73–97.
- 5. Dominique Foray (2014), "From smart specialization to smart specialization policy," *European Journal of Innovation Management*, 17: 4, pp. 492–507.
- 6. Belyakova, G. Ya., Proskurnin, S. D. (2016), Smart specialization is a strategy for sustainable development of regions [Umnaja specializacija strategija ustojchivogo razvitija regionov], *European Social Science Journal*, 2016, № 10, pp. 30–36.
- 7. Nacional'naja strategija ustojchivogo razvitija Respubliki Belarus' do 2035 goda [National Strategy for Sustainable Development of the Republic of Belarus until 2035], available at: https://economy.gov.by/uploads/files/Obsug daemNPA/NSUR-2035-1.pdf (accessed 10.03. 2022).
- 8. Registered countries and regions in the S3 Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/where-we-are (accesed 12.04.2022).
- 9. Romania Smart Specialization Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/region-page-test/-/regions/RO (accesed 12.05. 2022).
- 10. Poland Smart Specialization Platform, available at: https://s3platform.jrc.ec.europa.eu/region-page-test/-/regions/PL (accesed 14.04. 2022).
- 11. Smart Specialization as a Strategy for Implementing the Regional Innovation Development Policy-Poland Case Study, available at: https://Downloads/sustainability-12-07986.pdf (accesed 12.04.2022).
- 12. In Industrial Transition (2018), *Project Leaflet by Directorate-General for Regional and Urban Policy.*

- 13. Smart Specialization Pilot Actions (2018), Project Leaflet by Directorate-General for Regional and Urban Policy. Brussels: European Commission, 2018.
- 14. Foray, D., Morgan, K., Radosevic, S., *The role of smart specialization in the EU research and innovation policy landscape*, available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/brochure/smart/role_smartspecialisation_ri.pdf (accesed 12.03.2022).
- 15. Radosevic, S. (2017), Advancing Theory and Practice of Smart Specialization: Key Messages, *Advances in the Theory and Practice of Smart Specialisation*, Amsterdam: Academic Press, 2017, 345–355 p.
- 16. Foray, D. (2019), 'In response to "Six critical questions about smart spezialisation", *European Planning Studies*, 2019, DOI: 10.1080/09654313.2019.1664037.
- 17. Europe 2020, A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth, available at: https://ec.europa.eu/info/index_en (accesed 10. 02.2022).
- 18. Europe 2020 flagship initiative Innovation Union, available at: https://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/innovation-unioncommunication-brochure_en.pdf (accesed 11.04.2022).
- 19. Слонимская, М. А. (2021), Smart-кооперация стейкхолдеров как фактор регионального развития в условиях четвертой промышленной революции, Развитие и взаимодействие реального и финансового секторов экономики в условиях цифровой трансформации, Материалы Международной научно-практической конференции, Оренбург, 24–25 ноября 2021 года, Оренбургский государственный университет, 2021, С. 838–843.
- 20. Foray, D., Goenaga, X. (2013), The Goals of Smart Specialization, *JRC Scientific and Policy*

- Brussels: European Commission, 2018.
- 13. Smart Specialization Pilot Actions (2018), Project Leaflet by Directorate-General for Regional and Urban Policy. Brussels: European Commission, 2018.
- 14. Foray, D., Morgan, K., Radosevic, S., *The role of smart specialization in the EU research and innovation policy landscape*, available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/brochure/smart/role_smartspecialisation ri.pdf (accesed 12.03.2022).
- 15. Radosevic, S. (2017), Advancing Theory and Practice of Smart Specialization: Key Messages, *Advances in the Theory and Practice of Smart Specialisation.* / Eds. S. Radosevic, A. Curaj, R. Gheorghiu, Amsterdam: Academic Press, 2017, 345–355 p.
- 16. Foray, D. (2019), 'In response to "Six critical questions about smart spezialisation", *European Planning Studies*, 2019, DOI: 10.1080/09654313.2019.1664037.
- 17. Europe 2020, A European strategy for smart, sustainable and inclusive growth available at: https://ec.europa.eu/info/index_en (accesed 10. 02.2022).
- 18. Europe 2020 flagship initiative Innovation Union, available at: https://ec.europa.eu/research/innovation-union/pdf/innovation-unioncommunication-brochure_en.pdf (accesed 11.04.2022).
- 19. Slonimskaya, M. A. (2021), Smart-cooperation of stakeholders as a factor of regional development in the context of the fourth industrial revolution, Development and interaction of the real and financial sectors of the economy in the context of digital transformation [Smart-kooperacija stejkholderov kak faktor regional'nogo razvitija v uslovijah chetvertoj promyshlennoj revoljucii, Razvitie i vzaimodejstvie real'nogo i finansovogo sektorov jekonomiki v uslovijah

- Reports S3 Brief Series № 1, Brussels: European Commission.
- 21. «Подходы к внедрению умной специализации на региональном уровне»: АНАЛИ-ТИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ Беларусь, режим доступа: https://eap-csf.eu/wp-content/uploads/SMART-specialization_BELARUS.pdf (дата доступа 04.04.2022).
- 22. The Role of Clusters in Smart Specialization Strategy, available at: https://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/other_reports_studies_and_documents/clusters_smart spec2013.pdf (accesed 12.04.2022).
- 23. Yasheva, G. A., Slonimskaya, M. A., Vailunova, Y. G. (2022), Textile cluster in the Vitebsk region: Identification and directions of formation in the conditions of the economy digitalization, AIP Conference Proceedings: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI 2021), Vitebsk, 08–10 июня 2021 года, Vitebsk: AIP PUBLISHING, 2022, P. 040009.
- 24. Шерстнева, О. М. (2021), Особенности стратегии «умной специализации» как приоритетного направления социально-экономического развития регионов, Управленческие технологии и приоритеты социально-экономического развития регионов: сборник научных трудов по итогам проведения круглого стола, Москва, 30 сентября 2021 года, Москва: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2021, С. 138–143.
- 25. Яшева, Г. А., Вайлунова, Ю. Г. (2021), Оценка готовности малого и среднего предпринимательства к сотрудничеству в рамках кластера: методика и апробация, Вестник Витебского государственного технологического университета, 2021, № 1(40), С. 246–255.

- cifrovoj transformacii], *Materials of the International Scientific and Practical Conference*, Orenburg, 24–25 November, Orenburg State University, 2021, P. 838–843.
- 20. Foray, D., Goenaga, X. (2013), The Goals of Smart Specialization, *JRC Scientific and Policy Reports −S3 Brief Series № 1, Brussels: European Commission.*
- 21. «Podhody k vnedreniju umnoj specializacii na regional'nom urovne»: ANALITIChESKIJ OTChET Belarus' ["Approaches to the implementation of smart specialization at the regional level": ANALYTICAL REPORT Belarus], available at: https://eap-csf.eu/wp-content/uploads/SMART-specialization_BELARUS.pdf (accessed 04.04. 2022).
- 22. The Role of Clusters in Smart Specialization Strategy, available at: https://ec.europa.eu/research/evaluations/pdf/archive/other_reports_studies_and_documents/clusters_smart_spec2013.pdf (accesed 12.04.2022).
- 23. Yasheva, G. A., Slonimskaya, M. A., Vailunova, Y. G. (2022), Textile cluster in the Vitebsk region: Identification and directions of formation in the conditions of the economy digitalization, AIP Conference Proceedings: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI 2021), Vitebsk, June 08–10, 2021, Vitebsk: AIP PUBLISHING, 2022, P. 040009.
- 24. Sherstneva, O. M. (2021), Features of the strategy of "smart specialization" as a priority for the socio-economic development of regions. Management technologies and priorities for the socio-economic development of regions: a collection of scientific papers based on the results of the round table [Osobennosti strategii «umnoj specializacii» kak prioritetnogo napravlenija social'no-jekonomicheskogo razvitija regionov], Upravlencheskie tehnologii i prioritety social'no-jekonomicheskogo razvitija regionov: sbornik nauchnyh trudov po itogam provedenija kruglogo stola, Moscow: Federal State Budgetary

- 26. Foray, D. (2009), Smart Specialisation The Concept [Electronic resource] *Knowledge Economists Policy Brief*, 2009, № 9, available at: https://ec.europa.eu/invest-inresearch/pdf/download_en/kfg_policy_brief_no9.pdf (accesed 18.08.2021).
- Educational Institution of Higher Education, 2021, pp. 138–143.
- 25. Yasheva, G. A., Vaylunova, Yu. G. (2021), Assessing the readiness of small and medium-sized businesses to cooperate within a cluster: methodology and testing a [Ocenka gotovnosti malogo i srednego predprinimatel'stva k sotrudnichestvu v ramkah klastera: metodika i aprobacij], Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta Vestnik of Vitebsk State Technological University, 2021, № 1 (40), pp. 246–255.
- 26. Foray, D. (2009), Smart Specialization The Concept [Electronic resource] *Knowledge Economists Policy Brief*, 2009, № 9, available at: https://ec.europa.eu/invest-inresearch/pdf/download_en/kfg_policy_brief_no9.pdf (accesed 18.08.2021).

Статья поступила в редакцию 16. 05. 2022 г.

ГЕЛЬБЕРГ ЯКАЎ ЛЕЙМАВІЧ: ПЕДАГОГ, НАВУКОВЕЦ, ГЕРОЙ. ДА 100-ГОДДЗЯ З ДНЯ НАРАДЖЭННЯ

A TEACHER, A SCIENTIST, A HERO: YAKOV L. GELBERG (on the occasion of centenary of the birth)

А.А. Субоцін, В.М. Хаданёнак

Віцебскі дзяржаўны тэхналагічны ўніверсітэт

A. Subbotin, V. Khadanionak

Vitebsk State Technological University



У год гістарычнай памяці, які сёлета аб'яўлены ў Рэспубліцы Беларусь, немалаважна будзе ўзгадаць імёны тых, хто зрабіў важкі ўклад у перамогу над фашызмам у гады Вялікай Айчыннай вайны, сваім прыкладам выхаваў многія пакаленні нашых грамадзян і перадаў ім свае каштоўныя веды, а таксама заклаў асновы сучаснай сістэмы айчыннай вышэйшай адукацыі. Сярод такіх імёнаў у гісторыі Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта, бясспрэчна, можна назваць імя Якава Леймавіча Гельберга, якому ў 2022 г. споўнілася б 100 гадоў.

Якаў Леймавіч Гельберг нарадзіўся 16 траўня 1922 года ў невялікім старажытным мястэчку Мена на Чарнігаўшчыне ў сям'і служачых. Яго бацька, Лейма Якаўлевіч, да Кастрычніцкай рэвалюцыі працаваў рахункаводам, а пасля бугалтарам. Маці, Надзея Ільінішна, працавала рахункаводам. З самага маленства Якаў праяўляў цікаўнасць да кніжак і шмат чытаў на розныя тэмы. У 1930 г. ён пайшоў у першы клас сярэдняй Менаўскай школы, якую выдатна скончыў у 1939 г. Якаў Леймавіч хацеў паступаць у Харкаўскі авіяцыйны інстытут, але лёс склаўся інакш. На адкрытым уроку па гісторыі дырэктар школы быў у захапленні ад адказа Якава, і настойліва парэкамендаваў яму ісці вучыцца ў знакаміты Маскоўскі інстытут філасофіі, літаратуры і гісторыі імя М.Г. Чарнышэўскага. На той перыяд часу гэта вышэйшая навучальная ўстанова мела статус лепшай у галіне грамадскіх навук ва ўсім CCCP.

Якаў паслухаў параду дырэктара школы. Нягледзячы на надзвычай высокі конкурс, таленавіты юнак паступіў у МІФЛІ. У гэты час там выкладалі такія вядомыя гісторыкі, філолагі і філосафы, як А.У. Арцыхоўскі, С.Д. Сказкін, М.М. Ціхаміраў, М.М. Пакроўскі, Дз.М. Ушакоў і іншыя. Ужо з першага курса Якаў Леймавіч сур'ёзна заняўся навуковай працай. Пад кіраўніцтвам акадэміка Б.Ф. Поршнева ён пісаў работу "Філасофскія і этычныя погляды Томаса Мюнцэра". Час прадуктыўнай вучобы і творчых пошукаў бязлітасна і раптоўна абарвала вайна. 3 чэрвеня па жнівень 1941 года Якаў Леймавіч працаваў разнарабочым на заводзе № 24 авіяцыйнай прамысловасці ў Маскве. Ён атрымаў "бронь" і меў магчымасць застацца на вытворчасці. Але пасля сваіх неаднаразовых хадайніцтваў быў прызваны ў войска.

8 жніўня 1941 г. Гельберг Я.Л. быў накіраваны ў якасці курсанта ў школу сярэдняга каманднага складу пры 15-м запасным артылерыйскім палку 1-й запасной артылерыйскай брыгады, якая базіравалася ў горадзе Каломна. Пасля расфарміравання школы ў кастрычніку 1941 г. ён быў пераведзены курсантам у палкавую школу пры 15-м запасным артылерыйскім палку ў горад Кіраў. У лютым 1942 г. быў прызначаны памочнікам камандзіра ўзвода, а затым камісарам батарэі разведкі вучэбнага дывізіёна.

У канцы сакавіка 1942 г. Якава Леймавіча накіравалі на курсы малодшых лейтэнантаў у горад Горкі (сучасны Ніжні Ноўгарад) пры ІV-й запасной артылерыйскай брыгадзе. Пасля заканчэння курсаў у траўні 1942 г. Я.Л. Гельбергу было прысвоена званне малодшага лейтэнанта, і ён быў адпраўлены на фронт камандзірам агнявога ўзвода ў 53-ці артылерыйскі полк 25-й гвардзейскай стралковай дывізіі, якая фарміравалася ў Калінінскай вобласці. У гэтай дывізіі Я.Л. Гельберг праслужыў да 1946 г., да сваёй дэмабілізацыі.

На працягу вайны Якаву Леймавічу былі прысвоены наступныя званні: гвардыі лейтэнанта, гвардыі старшага лейтэнанта, гвардыі капітана. Таксама ён займаў розныя пасады: намеснік камандзіра батарэі, камандзір артылерыйскай батарэі, начальнік штаба дывізіёна, начальнік разведкі артылерыйскага палка, памочнік начальніка штаба артылерыйскай дывізіі.

На франтах Вялікай Айчыннай вайны Гельберг Я.Л. ваяваў з ліпеня 1942 г. і прыняў удзел у шэрагу стратэгічных баявых дзеянняў: утрыманне плацдарма на рацэ Дон (паблізу сяла Старажавое Астрагожскага раёна Варонежскай вобласці), фарсіраванне Дняпра, Корсунь-Шаўчэнкаўская і Яса-Кішынёўская ваенныя аперацыі (за ўдзел у апошняй атрымаў ордэн Айчыннай вайны ІІ-й ступені), фарсіраванне ракі Грон (Славакія). Таксама прымаў актыўны удзел у вызваленні тэрыторый Беларусі, Украіны, Малдовы, удзельнічаў у баях на тэрыторыі Румыніі, Венгрыі, Аўстрыі

(горад Крэмс), у Чэхаславакіі. У баях пад Кіраваградам (сучасны Крапіўніцкі) быў паранены і цяжка кантужаны.

Найбольш запамінальным эпізодам у сваёй ваеннай біяграфіі Я.Л. Гельберг лічыў бой, за які ён атрымаў свой першы ордэн - ордэн Чырвонай Зоркі. У студзені 1943 г. ішлі ўпартыя баі за станцыю Гаршэчнае (мяжа Варонежскай і Курскай абласцей). Падчас іх Якаў Леймавіч асабіста ліквідаваў нямецкі танк і самаходную ўстаноўку. У ходзе далейшых падзей савецкія войскі былі выбітыя немцамі са станцыі і аказаліся ў акружэнні ў чыстым полі пры 43-градусным марозе. Чырвонаармейцам тэрмінова дапамаглі: скінулі цёплую вопратку і бялізну. Ад камандавання паступіў загад вярнуць станцыю за трое сутак. Для дапамогі было вылучана 12 танкаў, аднак яны былі выведзеныя немцамі са строю. Савецкія воіны былі вымушаны ўступіць у жорсткую рукапашную сутычку з гітлераўцамі і неўзабаве загад быў паспяхова выкананы. Як узгадваў сам Якаў Леймавіч, рукапашны бой тады займаў важнае значэнне і менавіта ён навучыў яго сапраўднай мужнасці.

Я.Л. Гельберг як прафесійны гісторык і педагог змог праявіць свой выкладчыцкі талент нават на фронце. Падчас баёў за плацдарм на рацэ Дон адзін з камандзіраў папрасіў яго падняць баявы дух салдат. Тады Якаў Леймавіч расказаў ім пра прыклады гераічных падзей вайны 1812 г., пра асобу Кутузава і Барадзінскую бітву. Асабліва з расповядаў Гельберга салдат уразілі словы Напалеона пра Барадзінскую бітву: "Французы паказалі, як трэба перамагаць, а рускія, як быць непераможнымі". І хтосьці сказаў: "И сегодня такая же ситуация. Русских победить нельзя. Мы непобедимы".

Важнай падзеяй на франтах Вялікай Айчыннай вайны для Якава Леймавіча стала таксама Будапештская ваенная аперацыя (кастрычнік 1944 – люты 1945 г.). Ажыццявіць штурм Будапешта адначасова з двух бакоў не ўдавалася. Таму камандаванне 2-га Украінскага фронту стварыла будапештскую групіроўку войск, у якую ўвайшла 25-я гвардзейская стралковая дэвізія, у якой служыў Я.Л. Гельберг. 1-га студзеня 1945 г. завязаліся баі ў прадмесці Будапешта. Цяжкасць ба-

явых дзеянняў вызначалася не толькі колькасцю войск і якасцямі тэхнікі праціўніка. Немалаважную ролю мела тое, што штурмавікам удалося стварыць у горадзе моцны вузел супраціўлення і апорныя пункты. Як вядома, Дунай раздзяляе горад на дзве часткі – Буду і Пешт. Масты паміж імі былі зруйнаваны, і важнае значэнне ў забеспячэнні поспеху ўсёй аперацыі набыў захоп вострава Маргітсігет, які быў размешчаны ў цэнтры Дуная. За ўдзел у баях за востраў Якаў Леймавіч быў узнагароджаны ордэнам Аляксандра Неўскага. У статусе ордэна сказана: "Ордэнам Аляксандра Неўскага ўзнагароджваюцца камандзіры Чырвонай Арміі, якія праявілі ў баях за Радзіму ў Айчыннай вайне асабістую адвагу, мужнасць і ўмелае камандаванне, забяспечылі паспяховае дзеянне сваіх частак". Афіцэры ўзнагароджваліся гэтым ордэнам вельмі рэдка, выключна за асаблівыя баявыя заслугі.

Вайну Гельберг Я.Л. скончыў у Чэхаславакіі 13 траўня 1945 г., дзе прыняў удзел у канчат-ковым разгроме нямецкай групіроўкі, якая не жадала дабравольна капітуляваць і здаваць зброю, ірваўшыся на Захад.

Пасля заканчэння Вялікай Айчыннай вайны Я.Л. Гельберг быў прызначаны на пасаду першага памочніка начальніка штаба 437-й артылерыйскай брыгады 25-й гвардзейскай стралковай дывізіі, дзе і праслужыў да дэмабілізацыі.

У 1946 г. Якаў Леймавіч быў дэмабілізаваны і вярнуўся ў Маскву. Гэта быў ва ўсіх сэнсах цяжкі час. Бацька, маці і бабуля былі забіты фашыстамі ў 1941 г., а брат Лазар загінуў на фронце ў 1944 г. МІФЛІ быў расфарміраваны, а студэнты пераведзены ў Маскоўскі дзяржаўны інстытут. Каб вучыцца пасля вайны, Якаў разгружаў баржы і чысціў дахі дамоў ад снега. Нягледзячы на ўсе выпрабаванні, 30 чэрвеня 1949 г. МДУ быў скончаны з адзнакай, а Я.Л. Гельбергу была прысвоена кваліфікацыя навуковага работніка ў галіне гістарычных навук, выкладчыка вышэйшых навучальных устаноў і званне настаўніка сярэдняй школы.

Па размеркаванні малады спецыяліст адправіўся ў сталіцу Кіргізіі – Бішкек (тагачасны Фрунзэ). Там Якаў Леймавіч працаваў да лютага 1953 года старшым выкладчыкам на кафедры

марксізма-ленінізма ў педагагічным інстытуце. Адбыліся прыемныя змены і ў асабістым жыцці. У Бішкеку Я.Л. Гельберг сустрэўся са сваёй будучай жонкай – Верай Мікалаеўнай, ад якой у яго нарадзілася двое сыноў: Сяргей і Аляксандр.

Праца і сямейнае жыццё ўдала спалучаліся з навуковымі пошукамі і адкрыццямі. З лютага 1953 г. па 1955 г. Якаў Леймавіч навучаецца ў аспірантуры МДУ. Аспірантура была скончана датэрмінова і рашэннем аб'яднанага савета гістарычнага і эканамічнага факультэтаў і кафедры марксізма-ленінізма Маскоўскага ўніверсітэта імя Ламаносава ад 28 чэрвеня 1955 г. маладому навукоўцу была прысвоена вучоная ступень кандыдата гістарычных навук.

Трэба было шукаць сталае жыллё, а ў Маскве з гэтым былі пэўныя праблемы. Таму Якаў Леймавіч у верасні 1955 г. разам з сям'ёй пераязджае ў Віцебск, дзе ўладкоўваецца на працу ў Віцебскі ветэрынарны інстытут выкладчыкам сацыяльна-гуманітарных дысцыплін. Ён актыўна піша навуковыя артыкулы і займаецца даследчыцкай работай. Спектр яго зацікаўленасцяў быў вельмі шырокі, ад дзяржаўнага будаўніцтва і пытанняў арганізацыі камуністычнай працы да інтэрнацыянальнага выхавання моладзі і гісторыі прафсаюзнага руху.

12 ліпеня 1961 г. Вышэйшая атэстацыйная камісія прысвойвае Якаву Леймавічу званне дацэнта па кафедры марксізма-ленінізма. А 16 жніўня 1965 г. ён пераходзіць на працу ў толькі што створаны Віцебскі тэхналагічны інстытут лёгкай прамысловасці на пасаду загадчыка кафедры марксізма-ленінізма. Прычым зацвярджаў гэтае прызначэнне непасрэдна намеснік міністра адукацыі М. Красоўскі.

Апроч навукова-даследчыцкай дзейнасці Я.Л. Гельберг грунтоўна займаўся і вучэбна-метадычнай і арганізатарска-прапагандысцкай работай. Прычым яе формы часам былі не зусім стандартнымі. Напрыклад, у кабінеце кафедры адзін час была арганізавана "выстава" лепшых канспектаў студэнтаў, што давала ім стымул больш адказна ставіцца да наведвання і канспектавання лекцый. Доўгі час Якаў Леймавіч узначальваў ідэалагічную камісію райкама партыі, кіраваў метадычным саветам

на курсах перападрыхтоўкі партыйных, савецкіх і камсамольскіх кадраў. Вельмі часта ветэран вайны выступаў перад моладдзю, працоўнымі калектывамі горада, у школах і воінскіх частках з лекцыямі, прысвечанымі Вялікай Айчыннай вайне.

Я.Л. Гельберг стаяў і ля вытокаў навукова-даследчыцкай дзейнасці студэнтаў ВТІЛП па праблемах гуманітарных навук. Так работа студэнтаў А. Казлова, Г. Сіпарава і Н. Арловай "По пути технического прогресса (на примере фабрики КИМ)" пад яго пільным кіраўніцтвам стала лаўрэатам І-га ўсесаюзнага конкурсу навуковых студэнцкіх работ па праблемах грамадскіх навук і моладзевага руху. Кафедра марксізма-ленінізма была адзінай у вобласці, дзе былі лаўрэяты і дыпламанты ва ўсіх 5 усесаюзных конкурсах па праблемах грамадскіх навук.

Якаў Леймавіч быў ударнікам 9-й пяцігодкі (1971–1975 гг.). Указам Прэзідыума Вярхоўнага Савета БССР ад 31 жніўня 1976 г. яму было прысвоена ганаровае званне заслужанага

работніка вышэйшай школы БССР. А 21 студзеня 1977 г. Вышэйшая атэстацыйная камісія прысвоіла Я.Л. Гельбергу званне прафесара. 27 год ён кіраваў кафедрай (1965–1992), а затым працаваў у Віцебскім дзяржаўным тэхналагічным універсітэце на пасадзе прафесара да 2010 г. За гэты час ён выдаў больш за 100 артыкулаў і 2 манаграфіі (у суаўтарстве).

За сваё доўгае і насычанае жыццё Я.Л. Гельберг быў узнагароджаны 4 баявымі ордэнамі (ордэнам Аляксандра Неўскага, ордэнам Айчыннай вайны 1-й і 2-й ступені, ордэнам Чырвонай зоркі) і больш за 20 медалямі, а таксама 3 ганаровымі граматамі Прэзідыума Вярхоўнага Савета БССР. Да таго ж ён з'яўляецца ганаровым памежнікам Венгерскай народнай рэспублікі. Апроч афіцыйнага прызнання, Якаў Леймавіч Гельберг назаўжды застанецца ў памяці студэнтаў і супрацоўнікаў Віцебскага дзяржаўнага тэхналагічнага ўніверсітэта як чалавек незвычайнай моцы духа, шчырай душы і вялікага добрага сэрца.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андриянова Ольга Михайловна	 магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Башметов Валерий Степанович	 доктор технических наук, профессор кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Беляков Николай Владимирович	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Витебский государственный технологический университет
Буркин Александр Николаевич	 доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Быковский Денис Иванович	 аспирант кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Голубев Алексей Николаевич	— старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения», Витебский государственный технологический университет
Грошев Иван Михайлович	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет; начальник центральной заводской лаборатории «Витебскдрев»
Гуторова Елена Викторовна	— магистр экономических наук, ассистент кафедры «Экономика», Витебский государственный технологический университет
Деркаченко Павел Григорьевич	 старший преподаватель кафедры «Информационные системы и автоматизация производства», Витебский государственный технологический университет
Жорник Виктор Иванович	 доктор технических наук, профессор, начальник отделения технологий машиностроения и металлургии – заведующий лабораторией наноструктурных и сверхтвердых материалов, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси
Запольский Андрей Валерьевич	 соискатель лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси

 кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории наноструктурных и сверхтвердых материалов, Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси
 магистр технических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение», заместитель начальника отдела «Испытательный центр», Витебский государственный технологический университет
 кандидат технических наук, доцент кафедры «Менеджмент», Витебский государственный технологический университет
 кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения», Белорусско-Российский университет
 доктор экономических наук, профессор, заведующая кафедрой «Международный менеджмент», Белорусский государственный университет
 доктор наук в экономике и предпринимательстве, доцент кафедры «Общественное здоровье и эпидемиология», Рижский университет имени Страдыня
 доктор экономики, ведущий исследователь, Институт гуманитарных и социальных наук, Даугавпилсский университет
— аспирант, Белорусский государственный экономический университет
 магистр экономики, докторант программы «Управленческая наука», Факультет образования и управления, Даугавпилсский университет
— студент, Витебский государственный технологический университет
— аспирант, Витебский государственный технологический университет
— студент, Витебский государственный технологический университет

Никонова Татьяна Викторовна	 кандидат физико-математических наук, заведующий кафедрой «Математика и информационные технологии», Витебский государственный технологический университет
Панкевич Дарья Константиновна	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», Витебский государственный технологический университет
Петюль Ирина Анатольевна	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническое регулирование и товароведение», проректор по учебной работе, Витебский государственный технологический университет
Попок Николай Николаевич	 доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства», Полоцкий государственный университет
Пятов Владислав Владимирович	 доктор технических наук, профессор кафедры «Теплоэнергетика», Витебский государственный технологический университет
Рассеко Юлия Юрьевна	 магистр экономических наук, старший преподаватель кафедры «Международный менеджмент», Белорусский государственный университет
Скобова Наталья Викторовна	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Субботин Александр Александрович	 кандидат исторических наук, проректор по воспитательной работе, Витебский государственный технологический университет
Томашева Рита Николаевна	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Конструирование и технология одежды и обуви», Витебский государственный технологический университет
Филипович Ирина Васильевна	 инженер-технолог, Унитарное производственное предприятие «Витебский меховой комбинат»
Хаданёнак Виктор Мамертович	 кандидат исторических наук, заведующий кафедрой «Социально- гуманитарные дисциплины», Витебский государственный технологический университет
Цзиньтин Ван	 магистр экономических наук, Витебский государственный технологический университет

Чарковский Александр Владимирович	 кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология текстильных материалов», Витебский государственный технологический университет
Чижо Эдмундс	 доктор наук в экономике и предпринимательстве, доцент кафедры «Экономика», Даугавпилсский университет
Шерстнева Ольга Михайловна	 старший преподаватель кафедры «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет
Якубовский Роман Геннадьевич	— студент, Белорусско-Российский университет
Ясинская Наталья Николаевна	 доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Экология и химические технологии», Витебский государственный технологический университет
Яснев Данила Андреевич	— студент, Витебский государственный технологический университет
Яшева Галина Артемовна	 доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой «Экономическая теория и маркетинг», Витебский государственный технологический университет

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Andryianova Olga	 Master of Economics, Senior Lecturer at the Department "Economic", Vitebsk State Technological University
Bashmetau Valery	 Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department "Textile Technology", Vitebsk State Technological University
Belyakov Nikolay	 Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technology of Mechanical Engineering", Vitebsk State Technological University
Burkin Alexander	 Doctor of Science (in Engineering), Professor, Chair of the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University
Bykouski Dzianis	 Postgraduate Student at the Department "Textile Technology", Vitebsk State Technological University
Charkovskij Aleksandr	 Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Textile Technology", Vitebsk State Technological University
Cizo Edmunds	 Doctor of Science (in Economics and Entrepreneurship), Assistant Professor at the Department "Economic", Daugavpils University
Dzerkachenka Pavel	 Senior Lecturer at the Department "Information Systems and Production Automation", Vitebsk State Technological University
Filipovich Iryna	 Engineer-technologist, Unitary Production Enterprise "Vitebsk Fur Combine"
Groshev Ivan	 Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University; Head of the Central Factory Laboratory "Vitebskdrev"
Gutorova Alena	 Master of Economics, Assistant Lecturer at the Department "Economic", Vitebsk State Technological University
Holubeu Aliaksei	 Senior Lecturer at the Department "Technology of Mechanical Engineering", Vitebsk State Technological University

Ivakhnik Anton	 Candidate of Sciences (in Engineering), Leading Researcher of the Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Science of Belarus
Ivashko Katsiaryna	 Master of Technical Sciences, Postgraduate Student at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Deputy Head of the "Test Center" Department, Vitebsk State Technological University
Jinting Wang	 Master of Economics, Vitebsk State Technological University
Kalinouskaya Iryna	 Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Management", Vitebsk State Technological University
Kapitonov Alexander	 Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Mechanical Engineering Technology", Belarusian-Russian University
Karpenko Yelena	 Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department "International Management", Belarusian State University
Khadanionak Victor	 Candidate of Historical Sciences, Chair of the Department "Social and Humanitarian Disciplines", Vitebsk State Technological University
Kokarevica Anita	 Doctor of Science (in Economics and Entrepreneurship), Associate Professor at the Department "Public Health and Epidemiology", Riga Stradiņš University
Komarova Vera	 Doctor of Science (in Economics), Leading Researcher, Institute of Humanities and Social Sciences, Daugavpils University
Korzhak Victoria	 Graduate Student, Belarusian State University of Economics
Kudins Janis	 Master of Economics, Doctoral Student in the Programme "Management", Faculty of Education and Management, Daugavpils University
Kuznetsova Anna	 Student, Vitebsk State Technological University
Lenko Ksenia	 Postgraduate Student, Vitebsk State Technological University
Maruschak Yulia	 Student, Vitebsk State Technological University

Nikonova Tatsiana		
Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vice-Rector for Academic Affairs, Vitebsk State Technological University - Doctor of Science (in Engineering), Chair of the Department "Technology and Equipment of Machine-building Production", Polotsk State University - Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department "Thermal Power Engineering", Vitebsk State Technological University - Master of Economics, Senior Lecturer at the Department "International Management", Belarusian State University - Senior Lecturer at the Department "Economic Theory and Marketing", Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University - Candidate of Historical Sciences, Vice-Rector for Students Engagement and Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Nikonova Tatsiana	Department "Mathematic and Information Technology", Vitebsk State
Department "Technical Regulation and Commodity Science", Vice-Rector for Academic Affairs, Vitebsk State Technological University Popok Nikolay	Pankevich Darya	Department "Technical Regulation and Commodity Science",
Pyatov Vladislav - Doctor of Science (in Engineering), Professor at the Department "Thermal Power Engineering", Vitebsk State Technological University - Master of Economics, Senior Lecturer at the Department "International Management", Belarusian State University - Senior Lecturer at the Department "Economic Theory and Marketing", Vitebsk State Technological University - Senior Lecturer at the Department "Economic Theory and Marketing", Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University - Candidate of Historical Sciences, Vice-Rector for Students Engagement and Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Petyul Irina	Department "Technical Regulation and Commodity Science",
Power Engineering", Vitebsk State Technological University - Master of Economics, Senior Lecturer at the Department "International Management", Belarusian State University - Senior Lecturer at the Department "Economic Theory and Marketing", Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University - Candidate of Historical Sciences, Vice-Rector for Students Engagement and Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Popok Nikolay	 Doctor of Science (in Engineering), Chair of the Department "Technology and Equipment of Machine-building Production", Polotsk State University
Sherstneva Olga	Pyatov Vladislav	
Skobova Natalia - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University - Candidate of Historical Sciences, Vice-Rector for Students Engagement and Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Rasseko Yuliya	
Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University - Candidate of Historical Sciences, Vice-Rector for Students Engagement and Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Sherstneva Olga	
Socializing, Vitebsk State Technological University - Candidate of Sciences (in Engineering), Associate Professor at the Department "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Skobova Natalia	Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State
Pepartment "Design and Technology of Clothing and Footwear", Vitebsk State Technological University - Student, Belarusian-Russian University - Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Subbotin Alexandr	
Yasheva Galina — Doctor of Science (in Economics), Professor, Chair of the Department	Tomasheva Rita	Department "Design and Technology of Clothing and Footwear",
	Yakubovsky Roman	– Student, Belarusian-Russian University
	Yasheva Galina	

Yasinskaya Natalia	 Doctor of Science (in Engineering), Chair of the Department "Ecology and Chemical Technologies", Vitebsk State Technological University
Yasnev Danila	 Student, Vitebsk State Technological University
Zapolsky Andrey	 Applicant of the Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Science of Belarus
Zhornik Viktor	 Doctor of Science (in Engineering), Professor, Head of the Department of Technologies of Mechanical Engineering and Metallurgy – Head of the Laboratory of Nanostructural and Superhard Materials, Joint Institute of Mechanical Engineering of National Academy of Science of Belarus

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

- 1. Научно-технический журнал «Вестник Витебского государственного технологического университета» выходит два раза в год. К печати допускаются статьи по трем тематическим направлениям:
- технология и оборудование легкой промышленности и машиностроения;
 - химическая технология и экология;
 - экономика.
- 2. Рукописи, направляемые в журнал, должны являться оригинальным материалом, не опубликованным ранее в других печатных изданиях.
- 3. К рукописи статьи необходимо приложить следующие материалы:
- заявку с названием статьи, тематическим направлением (из п. 1), к которому она подается, списком авторов и их личными подписями. В заявке необходимо указать согласие авторов на размещение полного текста статьи на сайтах журнала «Вестник ВГТУ» (http://vestnik.vstu.by/rus/) и Научной электронной библиотеки (http://elibrary.ru/). В случае выполнения исследований в рамках финансируемых проектов или грантов необходимо указать источник финансирования;
- реферат на языке оригинала объемом 100–250 слов на русском или белорусском языке. Реферат оформляется по ГОСТ 7.9–95, включает ключевые слова и следующие аспекты содержания статьи: предмет, тему и цель работы, метод или методологию проведения работы, результаты работы, область применения результатов, выводы. Последовательность изложения содержания статьи может быть изменена. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте реферата;
- авторскую аннотацию (abstract), название статьи и ключевые слова на английском языке. Аннотация призвана выполнять функцию независимого источника информации, должна быть информативной, оригинальной, то есть не дублировать текст реферата, структурированной; объем аннотации должен составлять 100–250 слов;

- сопроводительное письмо от организации, где выполнялась работа, или выписку 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, е-mail, идентификационный номер ORCID, если они имеются) на русском и английском языках. Требуется также указывать транслитерированное (с использованием букв латинского алфавита) название места работы автора, которое можно получить, воспользовавшись бесплатной программой транслитерации русского языка в латиницу на сайте http://www.translit.ru/;
- электронный вариант всех материалов, кроме сопроводительного письма (выписки из протокола заседания кафедры) и экспертного заключения.
- 4. Структура принимаемых к опубликованию статей следующая: индекс УДК; название статьи; фамилии и инициалы авторов; текст статьи; список использованных источников.
- В тексте статьи должны быть последовательно отражены: состояние проблемы до начала ее изучения авторами; цель представленной работы и задачи, которые были решены для ее достижения; методика проведенных исследований; анализ полученных результатов, их научная новизна и практическая ценность; выводы. Полученные результаты должны быть обсуждены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. В выводах должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения. При необходимости должны быть также указаны границы применимости полученных результатов.

6. Список использованных источников оформляется отдельно в конце статьи; ссылки на публикации должны быть вставлены в текст в виде номера публикации в списке, заключенного в квадратные скобки. Ссылки на неопубликованные работы (диссертации, отчеты, депонированные рукописи) не допускаются. В библиографическом описании источника указываются фамилии и инициалы всех авторов, год издания (в круглых скобках), название источника (для статей – название журнала курсивом), номера страниц. Каждый источник должен иметь автора. Если упоминается сборник под редакцией, то в качестве автора указывается первый из ре-

дакторов. Если работа выполнена коллективом организации и конкретные авторы не указаны, в качестве автора указывается организация.

Если использованный источник опубликован не на английском языке, его библиографическое описание необходимо привести на языке оригинала и дополнить переводом на английский язык и транслитерацией всей указываемой в описании информации.

Примеры перевода и транслитерации библиографического описания (оформление соответствует требованиям, описанным выше для русскоязычного описания) приведены в таблицах.

Характеристика источника	Рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system)
Книга	Nenashev, M. F. (1993), <i>Poslednee pravitelstvo SSSR</i> [Last government of the USSR], Moscow, Krom Publ., 221 p. Kanevskaya, R. D. (2002), <i>Matematicheskoe modelirovanie gidrodinamicheskikh protsessov razrabotki mestorozhdenii uglevodorodov</i> [Mathematical modeling of hydrodynamic processes of hydrocarbon deposit development], Izhevsk, 140 p.
Статья из журнала	Zagurenko, A. G., Korotovskikh, V. A., Kolesnikov, A. A., Timonov, A. V., Kardymon, D. V. (2008), Techno-economic optimization of the design of hydraulic fracturing [Tekhniko-ekonomicheskaya optimizatsiya dizaina gidrorazryva plasta], <i>Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry</i> , 2008, № 11, pp. 54–57.
Статья из электронного журнала	Swaminathan, V., Lepkoswka-White, E., Rao, B. R. (1999), Browsers or buyers in cyberspace? An investigation of electronic factors influencing electronic exchange, <i>Journal of Computer-Mediated Communication</i> , Vol. 5, Nº 2, available at: www.ascusc.org/ jcmc/ vol 5/ issue 2/.
Материалы конференции	Usmanov, T. S., Gusmanov, A. A., Mullagalin, I. Z., Muhametshina, R. Ju., Svechnikov, A. V. (2007), Features of the design of field development with the use of hydraulic fracturing [Osobennosti proektirovaniya razrabotki mestorozhdeniy s primeneniem gidrorazryva plasta], New energy saving subsoil technologies and the increasing of the oil and gas impact, <i>Proceedings of the 6th International Technological Symposium</i> , Moscow, 2007, pp. 267–272.
Электронные источники	APA Style (2011), available at: http://www.apastyle.org/apa-style-help.aspx (accesed 5 February 2011). Pravila Tsicirovaniya Istochnikov [Rules for the Citing of Sources], (2011), available at: http://www.scribd.com/doc/1034528/ (accesed 7 February 2011).

Характеристика источника	Рекомендации по оформлению русскоязычного библиографического описания
Книга	Ненашев, М. Ф. (1993), Последнее правительство СССР, Москва, Кром, 221 с. Каневская, Р. Д. (2002), Математическое моделирование гидродинамических процессов разработки месторождений углеводородов, Ижевск, 140 с.
Статья из журнала	Загуренко, А. Г., Коротовских, В. А., Колесников, А. А., Тимонов, А. В., Кардымон, Д. В. (2008), Технико-экономическая оптимизация дизайна гидроразрыва пласта, <i>Нефтяное хозяйство</i> , 2008, № 11, С. 54–57.
Материалы конференции	Усманов, Т. С., Гусманов, А. А., Муллагалин, И. З., Мухаметшина, Р. Ю., Свечников, А. В. (2007), Особенности проектирования разработки месторождений с применением гидроразрыва пласта, Новые ресурсосберегающие технологии недропользования и повышения нефтегазоотдачи, <i>Труды 6-го Международного технологического симпозиума</i> , Москва, 2007, С. 267 – 272.

Также подробные рекомендации по составлению пристатейных списков литературы по стандарту Harvard (Harvard reference system) практически для всех видов публикаций даны на сайте http://www.emeraldinsight.com/authors/guides/write/harvard.htm?part=2.

- 7. Список использованных источников должен включать ссылки на актуальные научные публикации по теме статьи. 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.
- 8. Оформление статьи должно удовлетворять следующим требованиям:
- статьи подаются на русском, белорусском или английском языке;
- объем публикации должен составлять от 14 000 до 22 000 печатных знаков (4–10 страниц), набранных шрифтом Times New Roman 12, с полями по 20 мм на сторону и одинарным межстрочным интервалом;
- в файлах не должно быть макросов, колонтитулов и других сложных элементов форматирования:
- исключается автоматическая или ручная расстановка переносов;

- формулы набираются в прикладной программе Microsoft Equation 3.0, входящей в состав MS Office 2007, Times New Roman 12 полужирный курсив. Межстрочный интервал перед строкой формул составляет от 6 до 10 пт.;
- 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. Шрифт Times New Roman чёрный от 9 до 12 пт. 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 MS Word. Для названия осей координат и указания их размерности применяют шрифт Times New Roman от 9 до 11 пт. Фотографии должны иметь контрастное черно-белое изображение. В электронном виде фотографии представляются в стандартах растровой графики JPG, Tiff, BMP, PCX разрешением не менее 300 dpi;
- иллюстрации, графики, диаграммы, формулы и таблицы должны быть сохранены на электронном носителе каждый отдельным

файлом, файл должен называться по названию аналогичного элемента в тексте:

- 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; порядковые номера ссылок на использованные источники должны быть написаны внутри квадратных скобок;
- распечатка статьи должна полностью соответствовать приложенному файлу.

Рукописи, не соответствующие указанным требованиям, не принимаются.

- 9. Авторы статей несут ответственность за достоверность приводимых в статье данных и результатов исследований.
- 10. Редакция не взимает плату за опубликование научных статей.
- 11. Редакция предоставляет возможность первоочередного опубликования статей, представленных лицами, осуществляющими послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство) в год завершения обучения.

- 12. Поступившие в редакцию статьи после предварительной экспертизы на соответствие предъявляемым требованиям направляются на рецензию специалистам. Окончательное решение о публикации принимается на заседании редакционной коллегии с учетом результатов рецензирования.
- 13. Отклоненные редколлегией рукописи статей авторам не возвращаются. В случае возврата статьи автору на доработку датой представления считается день получения редакцией исправленной рукописи.
- 14. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения и сокращения в тексте статьи, реферате и abstract, не искажающие основное содержание статьи.
- 15. 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@tut.by ответственному секретарю редакционной коллегии Рыклину Дмитрию Борисовичу.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

ВЕСТНИК

ВИТЕБСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Nº 1 (42)

Дизайн и вёрстка издания Погорельская С.И.

Редактор издания Осипова Т.А.

Дизайн обложки Григорьева Н.В.

Подписано в печать 06.07.2022. Печать цифровая. Гарнитура РТ Sans. Усл. печ. листов 30,6. Уч.-изд. листов 25,3. Формат $60x90 \, ^1/_g$. Тираж 100 экз. Заказ № 224.

Свёрстано и подготовлено к печати редакционно-издательским отделом Витебского государственного технологического университета 210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72. Свидетельство о государственной регистрации

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 «Информационновычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь» 220004, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Кальварийская, 17. Специальное разрешение (лицензия) на право осуществления полиграфической деятельности № 02330/89 от 3 марта 2014 г.

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь № 2554 от 31 мая 2005 г.