

ISSN 2617-149X (print)  
ISSN 2617-1503 (online)

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
Учреждение образования  
«Витебский государственный технологический университет»

# **Материалы и технологии**

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ  
№ 2 (14), 2024



Витебск

Целью журнала «Материалы и технологии» (Materialy i tehnologii) является освещение, распространение и обсуждение основных результатов научных исследований в области конструкторского и технологического обеспечения промышленных производств по тематическим направлениям: машиностроение и машиноведение, техническая эстетика и дизайн.

Журнал способствует решению следующих задач: выявление научного потенциала для внедрения научных идей ученых, преподавателей, студентов, аспирантов и соискателей в практическую деятельность и образовательный процесс; пропаганда и распространение достижений науки; поддержание развития научно-кадрового потенциала учреждений образования и научных организаций; содействие формированию научных школ и направлений; повышение качества подготовки специалистов и научных кадров высшей квалификации; содействие молодым ученым в исследовательской работе и профессиональном росте; апробация результатов исследований соискателей ученых степеней; создание условий для открытой научной дискуссии, способствующей повышению качества научных исследований.

Журнал основан в 2018 году.

Периодичность выхода журнала – два раза в год.

Рабочие языки журнала: русский, белорусский, английский.

Учредителем журнала, его собственником и издателем является учреждение образования «Витебский государственный технологический университет».

Адрес: 210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр., 72.

E-mail учредителя: [vstu@vstu.by](mailto:vstu@vstu.by). E-mail журнала: [mat-tech@vstu.by](mailto:mat-tech@vstu.by).

Контактный телефон: +375 212 49 53 38.

#### **Редакция журнала:**

**Кузнецов Андрей Александрович** главный редактор, д.т.н., профессор УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

**Ванкевич Елена Васильевна** заместитель главного редактора, д.э.н., профессор УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

**Беляков Николай Владимирович** ответственный секретарь, к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

#### **Члены редакционной коллегии по направлениям:**

##### **Машиностроение и машиноведение**

**Савицкий Василий Васильевич** ответственный редактор тематического направления, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

**Антонюк Владимир Евгеньевич** д.т.н., профессор, главный научный сотрудник лаборатории металлургии в машиностроении научно-технического центра «Технологии машиностроения и технологическое оборудование» ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Республика Беларусь

**Басинюк Владимир Леонидович** д.т.н., профессор, начальник научно-технического центра «Технологии машиностроения и технологическое оборудование» ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Республика Беларусь

**Гультяев Вадим Иванович** д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильные дороги, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической академии», Российская Федерация

**Жерносек Сергей Васильевич** к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Теплоэнергетика» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь

**Жигалов Анатолий Николаевич** д.т.н., доцент, директор ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», Республика Беларусь

Ковчур Андрей Сергеевич	к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Лустенков Михаил Евгеньевич	д.т.н., профессор, ректор УО «Белорусско-Российский университет», Республика Беларусь
Михайлов Михаил Иванович	д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Робототехнические системы» УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Республика Беларусь
Ольшанский Валерий Иосифович	к.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Попов Андрей Юрьевич	д.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАО УВО «Омский государственный технический университет», Российская Федерация
Попок Николай Николаевич	д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «Полоцкий государственный университет им. Е. Полоцкой», Республика Беларусь
Путеев Николай Владимирович	к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Пятов Владислав Владимирович	д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Хейфец Михаил Львович	д.т.н., профессор, директор ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Республика Беларусь ГНУ
Шумячер Вячеслав Михайлович	д.т.н., профессор, академик академии инженерных наук Российской Федерации, профессор кафедры «Строительство, технологические процессы и машины» Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ УВО «Волгоградский государственный технический университет», Российская Федерация

#### **Техническая эстетика и дизайн**

Абрамович Наталья Анатольевна	ответственный редактор тематического направления, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Акиндинова Наталья Станиславовна	к.т.н., декан факультета дизайна УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Барсукова Наталия Ивановна	д.иск., профессор, главный научный сотрудник ФГБОУ УВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А.Л. Штиглица», Российская Федерация
Бекк Наталья Викторовна	д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Промышленный дизайн» ФГБОУ УВО «Новосибирский государственный университет архитектуры, дизайна и искусств им. А.Д. Крячкова», Российская Федерация
Горбунов Игорь Васильевич	к.иск., доцент, доцент кафедры «Дизайн» УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», Республика Беларусь
Довыденкова Вера Петровна	к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Конструирование и технология одежды и обуви» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
Жукова Ольга Михайловна	к.иск., доцент, доцент кафедры «Изобразительное искусство» УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», Республика Беларусь

- Казарновская Галина Васильевна к.т.н., доцент, профессор кафедры «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
- Ленсу Яков Юрьевич д.иск., доцент, зав. кафедрой «Теория и практика коммуникативного дизайна» УО «Белорусская государственная академия искусств», Республика Беларусь
- Лихачева Вера Михайловна профессор кафедры «Художественный текстиль» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А.Л. Штиглица», Российская Федерация
- Лоллини Анна Дмитриевна к.иск., зав. кафедрой «Изобразительное искусство» УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», Республика Беларусь
- Мальгунова Надежда Александровна к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология и художественное проектирование трикотажа» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна», Российская Федерация
- Милеева Екатерина Сергеевна к.т.н., ст. преподаватель кафедры «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
- Петрухина Оксана Валерьевна к.иск., доцент зав. кафедрой «Анимация и медиадизайн» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А.Л. Штиглица», Российская Федерация
- Самутина Наталья Николаевна к.т.н., доцент, доцент кафедры «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь
- Фуртай-Проскурина Ирина-Франциска Викторовна д.иск., профессор, профессор кафедры «Культурология и искусство» ФГАО УВО «Ленинградский государственный университет им. А.С. Пушкина», Российская Федерация

Выпуски журнала размещаются в электронных библиотеках и поисковых системах, а также индексируются в наукометрических базах данных: eLibrary, CyberLeninka, Google Scholar, РИНЦ, Science Index, ResearchBib, Index Copernicus International (ICI), SciUp.

ISSN 2617-149X (print)  
ISSN 2617-1503 (online)

**MINISTRY OF EDUCATION  
THE REPUBLIC OF BELARUS  
Educational Institution  
Vitebsk State Technological University**

# **Materials and Technologies**

SCIENTIFIC JOURNAL  
№ 2 (14), 2024



Vitebsk

UDC 67/68  
BBC 37.2

The purpose of the Materials and Technologies Journal (Materialy i tehnologii) is to highlight, disseminate and discuss the main results of scientific research in the field of design and technological support for industrial production in the following subject areas: Machine Building and Machine Science, Technical Aesthetics and Design.

The Journal contributes to solving the following tasks: identification of scientific potential for the implementation of scientific ideas of scientists, teachers, students, postgraduates, and applicants in practical activities and the educational process; propaganda and dissemination of achievements in sciences; supporting the development of scientific and personnel potential of educational institutions and scientific organizations; promoting the formation of scientific schools and directions; improving the quality of training of highly qualified specialists and scientific personnel; assistance to young scientists in research work and professional growth; testing the research results of applicants for academic degrees; creating conditions for open scientific discussion, contributing to the improvement of the quality of scientific research.

The Journal was founded in 2018.

The Journal is published twice a year.

The Journal accepts papers in Russian, Belarusian and English.

Vitebsk State Technological University is the founder, owner, and publisher of the Journal.

The address: 210038, Republic of Belarus, Vitebsk, prospect Moskovski, 72.

Founder's email: [vstu@vstu.by](mailto:vstu@vstu.by). Journal's email: [mat-tech@vstu.by](mailto:mat-tech@vstu.by).

Contact number: +375 212 49 53 38.

#### **The Editorial Board:**

- Andrei A. Kuzniatsou** Editor-in-Chief, Dr. Sc. (Eng), Professor, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
- Alena V. Vankevich** Deputy Editor-in-Chief, Dr. Sc. (Econ), Professor, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus
- Nikolay V. Belyakov** Editorial Board Chairperson, Cand. Sc. (Eng), Associate Professor at Technology of Machine Building Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus

#### **Editorial Board members by area of expertise:**

##### **Machine Building and Engineering Science**

- Vasili V. Savitsky Publication editor of the thematic area of expertise, Cand. Sc. (Eng), Head of Technology of Machine Building Department at Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
- Vladimir E. Antonyuk Dr. Sc. (Eng), Professor, Principal Researcher at Metallurgy in Machine Building Laboratory in the Scientific and Technical Center for Technologies of Machine Building and Technological Equipment (the Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus), the Republic of Belarus
- Vladimir L. Basinyuk Dr. Sc. (Eng), head of the Scientific and Technical Center for Technologies of Machine Building and Technological Equipment (the Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus), the Republic of Belarus
- Vadim I. Gulyaev Dr. Sc. (Eng), Professor, head of Highways, Foundations and Bases Department at Tver State Technical University, the Russian Federation
- Sergey V. Zhernosek Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, head of Heat Power Engineering Department at Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
- Anatolij N. Zhigalov Dr. Sc. (Eng), Professor, Principal of the Institute of Technology of Metals of the NAS of Belarus, the Republic of Belarus

Andrei S. Kauchur	Cand. Sc. (Eng), Associate Professor at Technology of Machine Building Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Mikhail E. Lustenkov	Dr. Sc. (Eng), Professor, Belarusian-Russian University, the Republic of Belarus
Mikhail I. Mikhailov	Dr. Sc. (Eng), Professor, head of Robotics Systems Department at Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus
Valery I. Olshansky	Cand. Sc. (Eng), Professor at Heat Power Engineering Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Andrey Yu. Popov	Dr. Sc. (Eng), Professor at the Metal-Cutting Machines and Tools Department, Omsk State Technical University, the Russian Federation
Nikolay N. Popok	Dr. Sc. (Eng), Professor, head of Technology and Equipment of Machinery Production Department at Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, the Republic of Belarus
Nikolai V. Puteev	Cand. Sc. (Eng), Associate Professor at Technology of Machine Building Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Vladislav V. Pyatov	Dr. Sc. (Eng), Professor at Heat Power Engineering Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Mikhail L. Kheifetz	Dr. Sc. (Eng), Professor, Principal of the Institute of Applied Physics of the NAS of Belarus, the Republic of Belarus
Vyacheslav M. Shumyacher	Dr. Sc. (Eng), Professor, Academician of the Academy of Engineering Sciences of the Russian Federation, Professor at the Department of Construction, Technological Processes and Machines at Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, the Russian Federation

### Technical Aesthetics and Design

Natallia A. Abramovich	Publication editor of the thematic area of expertise, Cand. Sc. (Eng), Head of Design and Fashion Department at Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Natallia S. Akindzinava	Cand. Sc. (Eng), Dean of the Design Faculty, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Natalia I. Barsukova	Dr. Sc. (Arts), Professor, Principal Researcher at Stieglitz State Academy of Art and Design of St. Petersburg, the Russian Federation
Natalya V. Bekk	Dr. Sc. (Eng), Professor, head of the Industrial Design Department at Kryachkov State University of Architecture, Design and Arts of Novosibirsk, the Russian Federation
Igor V. Gorbunov	Dr. Sc. (Arts), Associate Professor at the Design Department, Masherov State University of Vitebsk, the Republic of Belarus
Vera P. Dovydenkova	Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, head of Design and Technology of Clothes and Footwear Department at Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Olga M. Zhukova	Cand. Sc. (Arts), Associate Professor at the Fine Arts Department, Masherov State University of Vitebsk, the Republic of Belarus
Galina V. Kazarnovskaya	Cand. Sc. (Eng), Associate Professor, Professor at the Design and Fashion Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
Yakov Yu. Lensu	Dr. Sc. (Arts), Associate Professor, head of Theory and Practice of Communication Design Department at Belarusian State Academy of Arts, the Republic of Belarus

- Vera M. Lihacheva Professor at the Artistic Textile Department of Stieglitz State Academy of Art and Design of St. Petersburg, the Russian Federation
- Anna D. Lollini Cand. A., head of the Fine Arts Department, Masherov State University of Vitebsk, the Republic of Belarus
- Nadezhda A. Malgunova Cand. Sc. (Eng), Associate Professor at the Department of Technology and Artistic Design of Knitwear, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, the Russian Federation
- Ekaterina S. Mileeva Cand. Sc. (Eng), senior lecturer at the Design and Fashion Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
- Oksana V. Petrukhnina Cand. Sc. (Arts), Associate Professor, head of the Animation and Media Design Department, Stieglitz State Academy of Art and Design of St. Petersburg, the Russian Federation
- Natallia N. Samutsina Cand. Sc. (Eng), Associate professor at the Design and Fashion Department, Vitebsk State Technological University, the Republic of Belarus
- Irina-Francisca V. Foortai-  
Proskurina Dr. Sc. (Arts), Professor at the Cultural Studies and Arts Department, Pushkin State University of Leningrad, the Russian Federation

The Journal issues are posted in electronic libraries and search engines, and are also indexed in bibliometric databases: eLibrary, CyberLeninka, Google Scholar, RSCI, Science Index, ResearchBib, Index Copernicus International (ICI), SciUp.

## СОДЕРЖАНИЕ

## CONTENTS

### Машиностроение и машиноведение

### Machine Building and Engineering Science

Энергетические процессы при аэродинамическом  
звуковым упрочнении концевой фрезерного  
инструмента из быстрорежущей стали Р6М5  
*И. А. Горавский, А. Н. Жигалов*

10 Energy Processes during Aerodynamic Sound Hardening  
of Milling Tool Made of High-Speed Steel R6M5  
*Igor A. Goravskii, Anatoly N. Jigalov*

Рациональное применение модульных  
конструкций режущих инструментов на основе  
уравнивания стойкости различных их типов  
в инструментальных магазинах станков с ЧПУ  
*Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, В. С. Анисимов,  
Д. А. Башлачёв*

19 Rational Application of Modular Cutting Tools Based on  
Equalization of Resistance of Their Various Types in Tool  
Banks of CNC Machines  
*Nikolay N. Popok, Ruslan S. Khmelnitsky, Vitaly S. Anisimov,  
Dmitry A. Bashlachev*

Конфигурируемый захват манипулятора  
*Е. В. Чукасова-Ильюшкина, Е. С. Данилов*

31 Configurable Manipulator Grip  
*Ekaterina V. Chukasova-Ilyushkina, Evgeniy S. Danilov*

Анализ и синтез адаптивного фрикционного  
контакта твердых тел с косвенным регулированием  
*М. П. Шишкарев, М. Д. Гавриленко*

41 Analysis and Synthesis of Adaptive Frictional Contact  
of Solid Bodies with Indirect Control  
*Mikhail P. Shishkarev, Maksim D. Gavrilenko*

### Техническая эстетика и дизайн

### Technical Aesthetics and Design

Формирование особенностей и визуальная  
концепция сервиса по доставке вегетарианских  
товаров  
*Н. А. Абрамович, И. С. Гурко, Н. Д. Нестерович*

51 Formation of Features and Visual Concept of Vegetarian  
Goods Delivery Service  
*Natalia A. Abramovich, Illia C. Gurko,  
Nikita D. Nesterovich*

Применение современных технологий  
искусственного интеллекта в индустрии моды  
*М. Д. Демидова, Е. С. Рыкова*

61 Application of Modern Artificial Intelligence  
Technologies in the Fashion Industry  
*Maria D. Demidova, Elena. S. Rykova*

Кросс-дисциплинарный подход к  
проектированию одежды в системе  
«Авторская коллекция»  
*Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская*

68 Cross-Disciplinary Approach to Clothing Design  
in the Author's Collection System  
*Mikita S. Zakharchuk, Luydmila V. Popkovskaya*

Значение цвета при создании  
анимационного образовательного контента  
*О. В. Петрухина*

82 The Meaning of Color when Creating Animated  
Educational Content  
*Oksana V. Petrukhina*

# Энергетические процессы при аэродинамическом звуковом упрочнении концевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5

<sup>1</sup>И. А. Горавский, <sup>1,2</sup>А. Н. Жигалов

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет»,  
г. Барановичи, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Институт технологии металлов НАН Беларуси»,  
г. Могилев, Республика Беларусь

**Аннотация.** Метод аэродинамического звукового упрочнения (АДУ) обеспечивает повышение ударной вязкости при сохранении исходной твердости сплавов и за счет этого способен повышать ресурс металло-режущего инструмента, работающего при прерывистых процессах резания, что является весьма актуальным и эффективным решением существующей проблемы, связанной со снижением себестоимости обработки. Изучение влияния энергетических параметров и режимов при АДУ на формирование интенсивности, потоков и волновых энергий, определение эффективности энергетических процессов, возникающих при АДУ концевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5, позволило установить, что при АДУ, основанном на низкотемпературном и высокоэнергетическом воздействиях резонансных акустических волн в звуковом спектре частот, генерируются энергии, интенсивности и потоки волновой энергии, способные вызвать в кристаллических решетках быстрорежущих сталей Р6М5 диффузионные процессы, приводящие к выходу атомов из перенапряженных кристаллических решеток  $\alpha$ -Fe, и обеспечить структурные изменения в таких сталях.

*Ключевые слова:* метод аэродинамического звукового воздействия, быстрорежущая сталь Р6М5, энергии, энергетические процессы, интенсивность и потоки волновой энергии.

## Energy Processes during Aerodynamic Sound Hardening of Milling Tool Made of High-Speed Steel R6M5

<sup>1</sup>Igor A. Goravskii<sup>1</sup>, <sup>1,2</sup>Anatoly N. Jigalov

<sup>1</sup>Educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, Republic of Belarus

<sup>2</sup>State scientific institution "Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev, Republic of Belarus

**Abstract.** It has been determined that with the aerodynamic sound method, based on low-temperature and high-energy effects of resonant acoustic waves in the sound frequency spectrum, energies, intensities and wave energy flows are generated that can cause diffusion processes in the crystal lattices of high-speed HS 6-5-2 steels. These effects lead to the release of atoms from overstressed  $\alpha$ -Fe crystal lattices, and provide structural changes in such steel. The study of the influence of energy parameters and modes during ADU on the formation of intensity, flows and wave energies, and the determination of the efficiency of energy processes occurring during ADU of an end milling tool made of high-speed steel HS 6-5-2, made it possible to establish that during ADU, based on low-temperature and high-energy effects of resonant acoustic waves in the sound frequency spectrum, energies, intensities, and flows of wave energy are generated that are capable of causing diffusion processes in the crystal lattices of high-speed steels HS 6-5-2. This results in the release of atoms from overstressed  $\alpha$ -Fe crystal lattices, leading to structural changes in such steels.

*Keywords:* aerodynamic sound impact method, high-speed steel HS 6-5-2, energy, energy processes, intensity and flows of wave energy.

## ВВЕДЕНИЕ

Около 60 % механической обработки деталей машин связано с процессами прерывистого резания, которые в основном осуществляются фрезерованием концевым инструментом (концевые, шпоночные и др. фрезы), широко применяемым для получения пазов, уступов, канавок и других поверхностей деталей машин. При таких процессах резания возникают удары и циклические воздействия температуры на зуб инструмента при его врезании в материал и выходе из него; охлаждении инструмента при холостых ходах, что усугубляется из-за малых диаметров инструмента. В результате чего режущие зубья скалываются, и ресурс инструмента снижается [1]. Потребление фрезерного концевого инструмента из быстрорежущей стали Р6М5 достигает 80 % от всего объема выпуска быстрорежущей стали. Недостатком такого инструмента из стали Р6М5 является низкая ударная вязкость 27–48 кДж/м<sup>2</sup> при высокой твердости 63–65 HRC, что не позволяет осуществлять эффективную обработку при процессах прерывистого резания. Концевой фрезерный инструмент имеет пониженный в 1,6–2,0 раза ресурс, в сравнении с цилиндрическими, дисковыми и др. фрезами. Противостоять этому возможно путем совершенствования структуры инструмента методами упрочнения.

Наиболее перспективным в научном и эффективном в прикладном плане является метод аэродинамического звукового упрочнения (АДУ), позволяющий при сохранении исходной твердости обеспечивать повышение ударной вязкости сплавов и за счет этого повышать ресурс металлорежущего инструмента, работающего при прерывистых процессах резания [2, 3]. Механизм АДУ [4] заключается в снижении внутренних напряжений и плотности дислокаций за счет воздействия на инструмент резонансных акустических волн в звуковом спектре частот, образованных от колебаний двух параллельно расположенных стенок резонатора установки АДУ под действием воздушного потока, а сохранение созданного за счет самоорганизованных процессов равновесного состояния кристаллических решеток и дислокационных структур достигается старением, что позволяет повышать стойкость инструмента, работающего при прерывистом резании с ударными нагрузками.

Метод АДУ является относительно новым методом упрочнения инструмента. В связи с чем, целью работы является энергетическое обоснование целесообразности и эффективности метода АДУ для концевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5.

Задачами исследовательской работы являются:

- изучение работы установки АДУ, определенные параметров и режимов обработки при АДУ, на

которых образуются максимальные значения волновых энергий, интенсивности и потоков волновых энергий;

- установление и определение эффективности энергетических процессов, возникающих при АДУ концевого фрезерного инструмента из быстрорежущей стали Р6М5.

Для оценки создаваемых установкой АДУ резонансных амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) проводились измерения среднеквадратичного значения (СКЗ) виброскорости в частотном диапазоне 10...6400 Гц. В качестве измерительного прибора использовался виброанализатор СД-23, принцип работы которого основан на измерении электрического сигнала, поступающего от преобразователей вибраций, установленных на колеблющихся стенках установки АДУ. Преобразование входных аналоговых сигналов первичных преобразователей осуществлялось с применением для каждого канала устройства, преобразующего аналоговый сигнал в цифровой.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для реализации процесса АДУ разработана и изготовлена установка АДУ, адаптированная к процессам, происходящим при аэродинамическом резонансном звуковом воздействии на быстрорежущую сталь Р6М5 (рис.1) [5, 6].

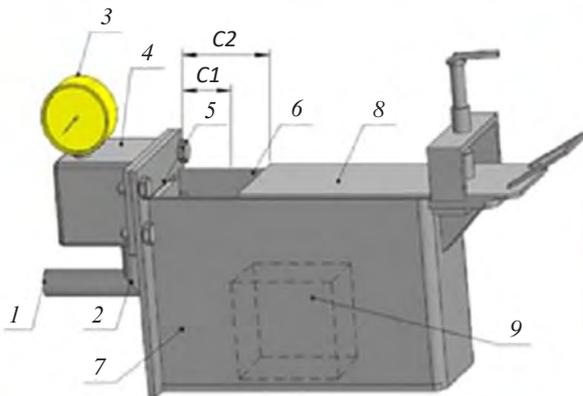
Установка АДУ является разновидностью объемного резонатора и представляет собой замкнутый прямоугольный контур, где параллельные более длинные стороны выполнены из металлических листов, способных по своим параметрам осуществлять колебательные движения под воздействием на них изменяющихся воздушных потоков, в отличие от боковых сторон и нижнего основания, выполненных значительно более жесткими. В таком контуре возникают собственные возбуждающиеся синусоидальные волновые акустические колебания, которые через определенный частотный интервал образуют резонансные пики, так называемые моды резонатора [7].

Установка АДУ работает следующим образом. Подающийся от системы воздухоприготовления 1 воздух подается через воздуховод 2 в камеру сглаживания пульсаций воздуха 4. Давление воздуха контролируется манометром 3. Изделие 9 из быстрорежущей стали Р6М5 закрепляется на поддерживающем устройстве, которое устанавливается в резонансную камеру 7 через выходной канал 6. Причем, поддерживающее устройство, а, следовательно, и упрочняющий инструмент, не должны касаться колеблющихся стенок камеры. Установка режимов обработки происходит путем настройки положения регулирующей заслонки 8 на размер  $C_1$  или  $C_2$  с последующей фиксацией заслонки 8.

В резонансную камеру 7 воздух с камеры сглаживания пульсаций 4 поступает через щелевое сопло 5. Расщепляясь на два потока, с помощью регулирующей заслонки 8, воздух поступает в резонансную камеру 7 и в атмосферу. За счет чего на стенки резонансной камеры воздействуют пульсирующие давления воздуха, которые заставляют стенки вибрировать с частотами, зависящими от давления и объема поступающего воздуха, объема воздуха уходящего через выходной канал 6. Явление резонанса

в камере возникает тогда, когда стенки резонансной камеры начинают вибрировать с одинаковой частотой.

Создание характеристик АЧХ обуславливается управляющими параметрами самого процесса АДУ, к которым относятся величины поступающего в резонансную камеру 7 объема и давления воздуха, а также объема воздуха, уходящего через выходной канал 6, зависящего от размера выходного канала 6 при заданном положении заслонки 8.



1 – система воздухоприготовления; 2 – воздуховод; 3 – манометр;  
4 – камера сглаживания пульсаций воздуха; 5 – щелевое сопло; 6 – выходной канал; 7 – резонансная камера;  
8 – регулирующая заслонка; 9 – изделие  
1 – air treatment system; 2 – air duct; 3 – pressure gauge; 4 – chamber for smoothing air pulsations; 5 – slot nozzle;  
6 – outlet channel; 7 – resonant chamber; 8 – regulating flap; 9 – product

**Рисунок 1 – Схема и общий вид установки АДУ для концевых фрезерных инструментов из быстрорежущих сталей**

**Figure 1 – Diagram and general view of the ADU installation for end milling tools made of high-speed steels**

На рисунке 2 представлены приборы и устройства при измерении АЧХ разработанной установки АДУ.

С помощью преобразователей вибраций, установленных в центре колеблющихся боковых стенок резонансной камеры установки АДУ, сигнал передается на виброанализатор. Общий уровень параметров виброскоростей и частот измерялся при различных значениях размеров выходного канала установки АДУ: 70; 85; 100; 115; 130; 140; 145; 170 мм.

Экспериментально установлено, что резонансные частоты на установке АДУ возникают при давлении падающего воздуха равного 0,16 МПа [8, 5].

На рисунке 3 представлена зафиксированная виброанализатором СД-23 в центре колеблющейся боковой стенки резонансной камеры установки АДУ, при размере выходного канала 85 мм, зависимость виброскорости (мм/с, СКЗ) от частоты.

Из рисунка 3 видно, что при размере выходного канала 85 мм на частоте 154 Гц возникает пик амплитуды

виброскоростей во много раз превышающий амплитуду внешнего напряжения, существующего в колеблющемся контуре. Такой пик является резонансным.

Анализ параметров АЧХ при различных значениях размеров выходного канала установки АДУ показал, что при определенных частотах внешних воздействий на колеблющихся стенках установки АДУ возникают пики амплитуд виброскоростей во много раз (более 370 раз) превышающие амплитуды виброскоростей внешнего напряжения, существующего в колеблющемся контуре. Зафиксировано, что для разработанной установки резонансные пики возникают в диапазоне частот 150–170 Гц.

Перед осуществлением процесса АДУ необходимо предварительно нагреть упрочняемое изделие до температуры хладноломкости, при которой будут происходить максимальные релаксационные изменения в быстрорежущей стали и одновременно она не потеряет свою исходную твердость. Ре-

зультаты исследований показали, что температура хладноломкости для быстрорежущей стали Р6М5 равна 280 °С [5].

Быстрорежущие стали имеют кристаллическое строение, порядок расположения атомов в кристаллической решетке строго определен и закономерен, силы взаимодействия уравновешены. Для боль-



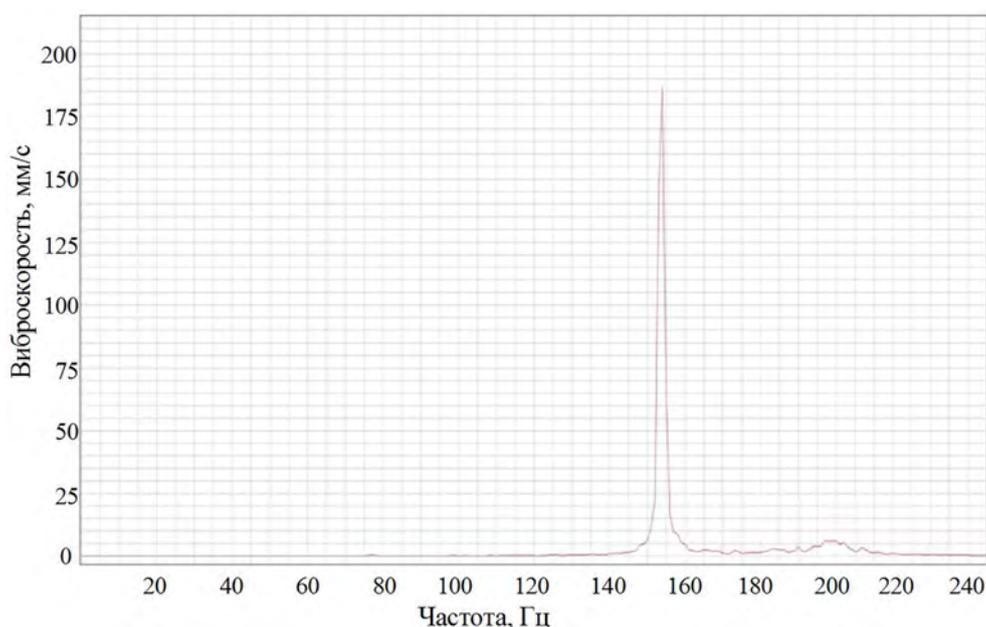
1 – установка АДУ; 2 – вибронализатор;  
3 – преобразователи вибраций  
1 – ADU installation; 2 – vibration analyzer;  
3 – vibration

**Рисунок 2 – Приборы и устройства при измерении АЧХ**

**Figure 2 – Instruments and devices for measuring frequency response**

шинства химических элементов, входящих в сталь Р6М5, свойственны кристаллические решетки (ГПУ – С; ОЦК – Fe, P, Mo, W, V; ГЦК – Ni, Fe, Co, Cu), имеющие наименьшие и наибольшие размеры сторон, в связи с чем в кристаллических решетках силы взаимодействия между атомами и атомная плотность по различным плоскостям неодинаковы, что порождает в различных плоскостях и направлениях решетки дефекты и дислокации, напряженные состояния, различного рода несовершенства. Наличие дислокаций главным образом и определяет прочность металлов. Для сдвига дислокаций необходимо одновременно разрушить (разорвать) ряд межатомных связей, произвести смещения атомов кристаллической решетки. Это достигается не одновременным разрушением всех межатомных связей, а последовательным – одна за другой. Для этого требуется приложение значительно меньших усилий. Дислокации могут перемещаться при очень малых напряжениях – меньше 104 Па.

Наличие в стали углерода и легирующих элементов существенным образом влияет на фазовые переходы. Расположение атомов железа в кристаллической решетке определяет структуру стали. При размещении углерода в кристаллической решетке среди атомов железа образуется твердый раствор углерода в  $\alpha$ -Fe, то есть феррит – мягкий и пластичный. Железо может образовывать с углеродом химическое соединение цементит ( $Fe_3C$ ) –



**Рисунок 3 – Зависимость виброскорости от частоты на установке АДУ при размере выходного канала 85 мм**

**Figure 3 – Dependence of vibration velocity on frequency at the ADU installation with an output channel size of 85 mm**

твёрдый (свыше 1000 НВ) и очень хрупкий. Растворение углерода в  $\alpha$ -Fe может представлять твердый раствор в виде мартенсита.

Следовательно, на механические свойства сплавов можно оказывать влияние через регулирование атомов углерода и легирующих элементов в кристаллической решетке  $\alpha$ -Fe. Энергия от волновых воздействий способна вызвать в быстрорежущих сталях диффузионные процессы, приводящие к выходу атомов химиче-

ских элементов из решетки  $\alpha$ -Fe, что и приведет к устранению искажений решетки, уменьшению плотности дислокаций, снижению внутренних напряжений структуры.

Размеры атомов ( $R_a$  – радиус,  $S_a$  – площадь) химических элементов, входящих в сталь P6M5, межатомные расстояния ( $a_p$ ,  $b_p$ ,  $c_p$  – размеры ребер элементарной ячейки кристаллической решетки) и массы атомов ( $m$ ) в таких решетках представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Размеры атомов химических элементов, входящих в сталь P6M5, межатомные расстояния кристаллических решеток и масс атомов**

**Table 1 – Sizes of atoms of chemical elements included in the composition of steel P6M5, interatomic distances of crystal lattices and atomic masses**

Элементы	$a_p, \text{ \AA}$	$c_p, \text{ \AA}$	$b_p, \text{ \AA}$	$m, \text{ а.е.м.}$	$m \cdot E^{-26}, \text{ кг}$	$R_a, \text{ пм}$	$S_a \cdot 10^{-24}, \text{ м}^2$
<i>C</i>	2,46	6,71	3,567	12,011	1,994	70	15386,0
<i>Si</i>	10,44	24,4	12,85	28,0855	4,664	111	38687,9
<i>Mn</i>	8,89	-	-	54,938	9,123	127	50645,1
<i>Ni</i>	3,524	-	-	58,6934	9,746	124	48280,6
<i>S</i>	10,44	24,4	12,85	32,065	5,325	111	38687,9
<i>P</i>	18,8	-	-	30,9738	5,143	128	51445,8
<i>Cr</i>	2,885	-	-	51,9961	8,634	128	51445,8
<i>Mo</i>	3,147	-	-	95,95	15,933	139	60667,9
<i>W</i>	3,16	-	-	183,84	30,527	137	58934,7
<i>V</i>	3,024	-	-	50,941	8,459	134	56381,8
<i>Co</i>	2,505	4,08	-	58,933	9,786	125	49062,5
<i>Cu</i>	3,615	-	-	63,546	10,552	128	51445,8
<i>Fe</i>	2,866	-	-	55,845	9,273	126	49850,6

При методе АДУ на структуру обрабатываемого изделия оказывает влияние величина волновой энергия и интенсивность потока энергии [2]. Данные параметры влияют на увеличение или снижение эффектов, связанных с уменьшением напряжений структуры и плотности дислокаций. В связи с чем, весьма важным являлось установление размеров выходного канала установки АДУ, при которых возникают наибольшие значения плотности волновой энергия и интенсивности потока энергии.

Определение значений плотности волновой энергия и интенсивности потока энергии, а также резонансных амплитуд виброперемещений осуществлялось расчетным методом по формулам с учетом зафиксированных резонансных виброскоростей и частот.

Резонансные амплитуды виброперемещений  $A_{рез}$  определялись в зависимости от резонансных ампли-

туд виброскоростей  $V_{рез}$  и частот  $\omega_{рез}$ , которая связана с периодом – интервалом времени, в течение которого происходит одно полное колебание, по формуле (Иванов, Н. И. Инженерная акустика и практика борьбы с шумом : учебник / Н. И. Иванов. – Москва : Университетская книга, Логос, 2008. – 424 с.):

$$A_{рез} = \frac{V_{рез}}{2\pi\omega_{рез}}, \quad (1)$$

Плотность звуковой энергии, равная усредненной по времени сумме потенциальной и кинетической энергии волны в данной точке среды, является наиболее важной энергетической характеристикой звукового поля (Борьба с шумом на производстве: Справочник / под ред. Е.Я. Юдина. – Москва : Машиностроение, 1985. – 400 с.). Полная волновая энергия  $\bar{E}$ , Дж/м<sup>3</sup>, в единице объема среды, в котором распространяется волна равна [9]:

$$\bar{E} = \frac{1}{2} \rho A_{рез}^2 \omega_{рез}^2, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность среды или быстрорежущей стали Р6М5, кг/м<sup>3</sup>.

В силу того, что энергия не остается локализованной на данном участке, а перемещается в среде, то распространение волновой энергии характеризуется интенсивностью энергии, проходящей в единицу времени через единичную площадку, расположенную перпендикулярно к направлению распространения волны. Поскольку энергия волны распространяется со скоростью звука в определенной среде, то интенсивность (Вт/м<sup>2</sup>) равна энергии, заключенной в прямоугольном параллелепипеде, площадь основания которого есть единица, а высота равна скорости звука в среде, и определяется по формуле [9]:

$$I = \frac{1}{2} \rho A_{рез}^2 \omega_{рез}^2 c_c, \quad (3)$$

где  $c_c$  – скорость звука в железном стержне.

Поток волновой энергии (Дж), проходящей через поверхность площадью  $S_a$  за время  $\tau$ , определяется по формуле:

$$W = \frac{1}{2\delta_g} \rho A_{рез}^2 \omega_{рез}^2 V_{рез} S_a \tau. \quad (4)$$

где  $\delta_g$  – коэффициент снижения энергетического воздействия.

При АДУ, из-за специфики конструкции установки (разное количество воздуха выходит через выходное окно установки АДУ при разных его размерах) разного объема, загружаемого в камеру инструмента, существующего трения воздуха с инстру-

ментом и стенками камеры, потерь тепла изделий при обдуве их воздухом и ряда других причин, происходит потеря энергии колебательной системой, характеризуемая коэффициентом  $\delta_g$ .

В расчетах принимались значения плотности быстрорежущей стали Р6М5  $\rho = 8300$  кг/м<sup>3</sup>, скорости звука поперечной волны  $c_c = 3250$  м/с, что наиболее близко к концевому фрезерному инструменту (Суржиков, А. П. Определение скорости распространения звука в металлических и неметаллических материалах : методические указания / А. П. Суржиков. – Томск 2018. – 10 с.).

В таблице 2 приведены значения энергетических параметров, возникающих в центре колеблющихся боковых стенок (левой и правой) резонансной камеры установки АДУ при различных размерах выходного канала при  $\tau = 180$  с, определенных экспериментально (частота, виброскорость) и расчетами (амплитуда виброперемещений, волновая энергия, интенсивность и поток волновой энергии) по формулам (1–4).

Как видно из таблицы 2, существует расхождение значений энергетических воздействий, генерируемых левой и правой сторонами резонатора установки АДУ, которое составляет не более 8 %. Расхождения образуются из-за погрешности измерения (размещения преобразователей вибраций), настройки самой установки АДУ, неровности пола и других явлений. Однако такая погрешность, являющаяся весьма приемлемой, нивелируется в упрочняющем изделии, в котором лишь незначительно смещается центр пересечения встречных энергий, поступающих от левой и правой сторон резонатора.

**Таблица 2 – Значения энергетических параметров установки АДУ**  
**Table 2 – Values of the energy parameters of the ADU installation**

Размер окна, мм	Частота $\omega_{рез}$ , Гц	Виброскорость $V_{рез}$ , мм/с		Амплитуда виброперемещений $A_{рез}$ , мм		Волновая энергия $E$ , Дж/м <sup>3</sup>		Интенсивность волновой энергии $I$ , Вт/м <sup>2</sup>		Поток волновой энергии, $W \cdot 10^{-19}$ (Дж)			
		Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая		Правая	
										min	max	min	max
70	154	121	119	0,125	0,123	1,54	1,49	5007	4843	1,5	5,7	1,4	5,5
85	154	185	191	0,191	0,197	3,60	3,84	11705	12476	5,4	20,5	5,8	22,7
100	150	167	161	0,177	0,171	2,93	2,73	9538	8865	2,0	7,8	1,8	6,7
115	151	179	186	0,189	0,196	3,37	3,64	10958	11832	2,5	9,6	2,7	10,7
130	168	182	187	0,173	0,177	3,49	3,68	11328	11959	2,7	10,1	2,9	10,9
140	152	143	147	0,150	0,154	2,15	2,27	6993	7390	1,3	4,9	1,4	5,3
145	152	146	140	0,153	0,147	2,24	2,06	7290	6703	1,2	4,5	1,1	4,0
170	150	83	84	0,088	0,089	0,73	0,74	2373	2413	0,2	0,8	0,2	0,8

На рисунке 4 приведены зависимости волновой энергии от размера входного канала установки АДУ, на которых видны два горба, образующие наибольшие энергии: 3,6–3,84 Дж/м<sup>3</sup> – при размере входного канала 85 мм установки АДУ на частоте 154 Гц; 3,49–3,68 Дж/м<sup>3</sup> – при размере входного канала 130 мм установки АДУ на частоте 168 Гц.

На рисунке 5 представлены зависимости интенсивности волновой энергии от размера входного канала установки АДУ.

Из рисунка 5 видно, что при размерах входного канала, равных 85 мм и 130 мм установки АДУ, также возникают наибольшие значения интенсивности волновой энергии, соответственно равные 11705–12476 Вт/м<sup>2</sup> и 11328–11959 Вт/м<sup>2</sup>.

Проведены экспериментальные исследования параметров АЧХ установки АДУ с загрузкой ее концевым фрезерным инструментом в количестве 20 единиц (Ø 5–14 мм), что позволило определить резонансные частоты, которые генерируются установкой АДУ при полной загрузке установки АДУ инструментом и определить коэффициенты снижения энергетического воздействия на режиме 1 ( $\delta_g = 3,5$ )

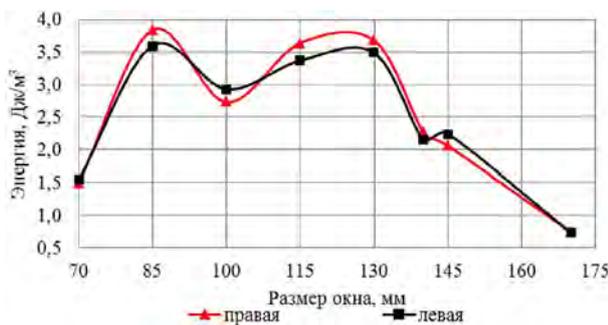


Рисунок 4 – Волновая энергия от размера входного канала установки АДУ  
Figure 4 – Wave energy from the size of the input channel of the ADU installation

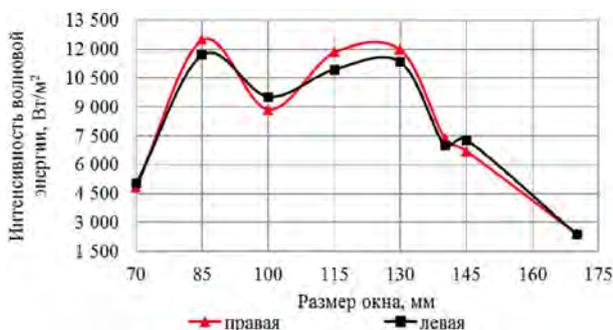


Рисунок 5 – Интенсивность волновой энергии от размера входного канала  
Figure 5 – The intensity of the wave energy from the size of the input channel

и режиме 2 ( $\delta_g = 6,7$ ). С учетом коэффициентов  $\delta_g$  на каждом из режимов и параметров атомов химических элементов, входящих в быстрорежущую сталь Р6М5 (табл. 1), рассчитаны по формуле (4) потоки волновых энергий. Расчеты сведены в таблицу 2.

На рисунке 6 приведены зависимости потоков волновой энергии (Дж) для атома углерода С, имеющего наименьшие массовые и размерные параметры, от размера входного канала установки АДУ. На рисунке 7 приведены зависимости потоков волновой энергии (Дж) для атома вольфрама W, имеющего наибольшие массовые и размерные параметры, от размера входного канала установки АДУ.

Из рисунков 6 и 7 можно сделать следующие выводы. При размере входного канала установки АДУ, равного 85 мм (режим 1), на атом химического элемента углерода С, имеющего наименьшие массовые и размерные характеристики, действует поток

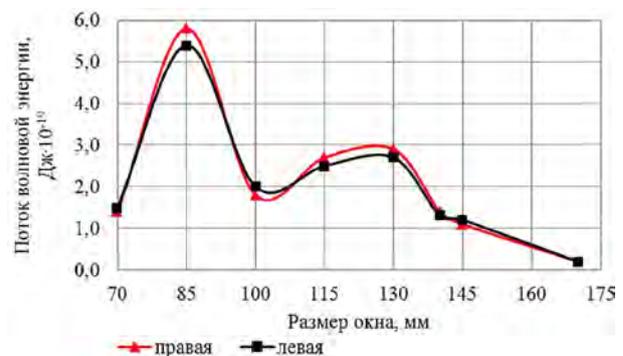


Рисунок 6 – Зависимости потоков волновой энергии, действующих на атомы С, от размера входного канала установки АДУ  
Figure 6 – Dependences of the wave energy fluxes acting on C atoms on the size of the input channel of the ADU installation

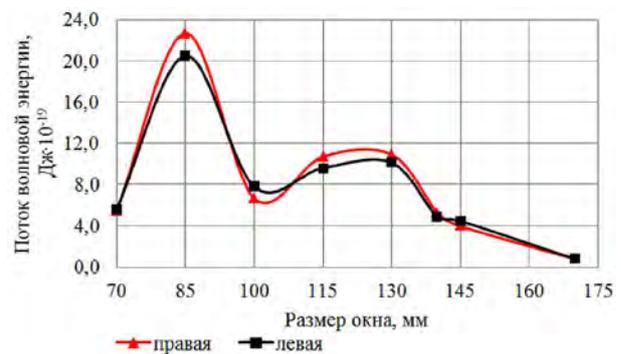


Рисунок 7 – Зависимости потоков волновой энергии, действующих на атомы W, от размера входного канала установки АДУ  
Figure 7 – Dependences of the wave energy fluxes acting on W atoms on the size of the input channel of the ADU installation

волновой энергии  $(5,4-5,8) \cdot 10^{-19}$  Дж, а на атом химического элемента вольфрама  $W$ , имеющего наибольшие массовые и размерные характеристиками, действует поток волновой энергии  $(20,5-22,7) \cdot 10^{-19}$  Дж. При размере входного канала установки АДУ, равного 130 мм (режим 2), на атом химического элемента углерода  $C$ , имеющего наименьшие массовые и размерные характеристики, действует поток волновой энергии  $(2,7-2,9) \cdot 10^{-19}$  Дж, а на атом химического элемента вольфрама  $W$ , имеющего наибольшие массовые и размерные характеристики, действует поток волновой энергии  $(10,1-10,9) \cdot 10^{-19}$  Дж. На атомы всех других химических элементов, имеющих промежуточные значения массовых и размерных параметров, действуют потоки волновых энергий, имеющих промежуточные значения.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Для разработанной установки АДУ существует два режима, на которых образуются максимальные значения волновых энергий, интенсивности и потоков волновых энергий:

- режим 1 – при размере входного канала 85 мм на частоте 154 Гц;
- режим 2 – при размере входного канала 130 мм на частоте 168 Гц.

2. Известно, что для смещения атомов кристаллических решеток при АДУ необходима энергия не менее, чем  $(2,5-16,7) \cdot 10^{-19}$  Дж [2]. Следовательно, потоки волновых энергий  $(5,4-22,7) \cdot 10^{-19}$  Дж, генерируемые созданной установкой АДУ, способны вызвать в кристаллических решетках быстрорежущих сталей диффузионные процессы, приводящие к выходу атомов из перенапряженных кристаллических решеток  $\alpha-Fe$ , и обеспечить структурные изменения в таких сталях.

3. Энергии от резонансных волновых воздействий при АДУ на режимах 1 и 2, достаточные для смещения атомов из равновесных положений, обеспечиваются специфической комбинацией, ранее неизвестных, совокупных воздействия энергий от температурного (повышения уровня потенциальной энергии колебания атомов кристаллической решетки) и затем волнового резонансного воздействий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жигалов, А. Н. Интенсивность ударной нагрузки и силового воздействия при резании концевым фрезерным инструментом / А. Н. Жигалов, И. А. Горавский, Л. Л. Сотник // Вестник БарГУ. Серия Технические науки. – 2023. – №. 1 (13). – С. 14–22. <https://rep.barsu.by/items/df7ba3c1-62bd-4e56-8ad8-934e9c857609>
2. Жигалов, А. Н. Теоретические и технологические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.07 / А. Н. Жигалов. – Минск : БНТУ, 2021. – 382 с.
3. Жигалов, А. Н. Теоретические основы аэродинамического звукового упрочнения твердосплавного инструмента для процессов прерывистого резания : монография / А. Н. Жигалов, В. К. Шелег ; рец.: В. В. Клубович, Л. М. Акулович. – Могилев : МГУП, 2019. – 212 с.
4. Жигалов, А. Н. Исследование влияния аэродинамического звукового упрочнения на износ пластин из твердого сплава Т5К10 при токарной обработке прерывистых поверхностей / А. Н. Жигалов, Т. В. Дейхина, И. А. Горавский // Наука – практике: материалы I Междунар. науч.-практ. конф., 15 мая 2020 г. – Барановичи : БарГУ, 2020. – С. 110–111. <https://rep.barsu.by/items/231e4d90-8d34-42ea-8619-845875a46b1b>.
5. Горавский, И. А. Технология и режимы аэродинамического звукового воздействия на осевой фрезерный инструмент из быстрорежущих сталей / И. А. Горавский, А. Н. Жигалов, К. С. Винничек. // Вестн. БарГУ. Сер. техн. науки. – 2022. – Вып. № 2(12) – С. 4–15. [https://publish.barsu.by/index.php/technik\\_science/article/view/211](https://publish.barsu.by/index.php/technik_science/article/view/211).
6. Горавский, И. А. Исследование износа концевых фрез Р6М5, упрочненных аэродинамическим звуковым методом / И. А. Горавский, А. Н. Жигалов, Т. В. Дейхина // Новые материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии : материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 29–30 окт. 2020 г. / Могилев : Беларус.-Рос. ун-т., 2020. – С. 32. <http://e.biblio.bru.by/handle/12121212/13341>.
7. Helmholtz, H. On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music / H. Helmholtz // London: Longmans, Green, and Co. – 2010. – P. 44.
8. Жигалов, А. Н. Экспериментальные исследования микроструктуры быстрорежущей стали Р6М5, упрочненной аэродинамическим звуковым методом / А. Н. Жигалов, И. А. Горавский // Вестн. БарГУ. Сер. техн. науки. – 2022. – Вып. № 1(11). – С. 14–23. <https://rep.barsu.by/items/bbbd7b09-1bd9-4b5a-9969-3cfe1f20c57d>.
9. Северденко, В. П. Применение ультразвука в промышленности / В. П. Северденко, В. В. Клубович. – Минск : Наука и техника, 1967. – 264 с.

## REFERENCES

1. Zhigalov AN, Goravsky IA, Sotnik LL. Intensity of shock load and force action when cutting with an end milling tool. *Vestnik BarGU. Seriya Tekhnicheskie nauki = BarSU Herald. Series Engineering*. 2023;(1(13)):14-22. <https://rep.barsu.by/items/df7ba3c1-62bd-4e56-8ad8-934e9c857609> (In Russ.)
2. Zhigalov AN. Teoreticheskie i tekhnologicheskie osnovy aerodinamicheskogo zvukovogo uprochneniya tverdosplavnogo instrumenta dlya protsessov preryvistogo rezaniya : dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.02.07 = Theoretical and technological foundations of aerodynamic sound hardening of carbide tools for intermittent cutting processes : dissertation. ... Dr. Tech. Sciences : 02.05.07. Minsk: BNTU; 2021:382. (In Russ.)
3. Zhigalov AN, Sheleg VK. Teoreticheskie osnovy aerodinamicheskogo zvukovogo uprochneniya tverdosplavnogo instrumenta dlya protsessov preryvistogo rezaniya : monografiya = Theoretical foundations of aerodynamic sound hardening of carbide tools for intermittent cutting processes: monograph. Mogilev: MGUP; 2019:212. (In Russ.)
4. Zhigalov AN, Deikhina TV, Goravsky IA. Investigation of the effect of aerodynamic sound hardening on the wear of T5K10 hard alloy plates during turning of discontinuous surfaces. In: Nauka-praktike: materialy I Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., May 15, 2020, Baranovichi. Baranovichi: BarGU; 2020:110-111. <https://rep.barsu.by/items/231e4d90-8d34-42ea-8619-845875a46b1b> (In Russ.)
5. Goravsky IA, Zhigalov AN, Vinnichuk KS. Technology and modes of aerodynamic sound effect on axial milling tools made of high-speed steels. *Vestnik BarGU. Seriya Tekhnicheskie nauki = BarSU Herald. Series Engineering*. 2022;(2(12)):4-15. [https://publish.barsu.by/index.php/technik\\_science/article/view/211](https://publish.barsu.by/index.php/technik_science/article/view/211) (In Russ.)
6. Goravsky IA, Zhigalov AN, Deikhina TV. The study of wear of end mills HSS hardened by the aerodynamic sound method. In: Novye materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii : materialy mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. molodykh uchenykh = New materials, equipment and resource-saving technologies : materials of International Scientific and technical conf. Young Scientists, Mogilev, October 29-30, 2020, Mogilev. Mogilev: BRU; 2020:32. <http://e.biblio.bru.by/handle/1212121212/13341> (In Russ.)
7. Helmholtz H. On the sensations of tone as a physiological basis for the theory of music. London: Longmans, Green, and Co; 2010:44.
8. Zhigalov AN, Goravsky IA. Experimental studies of the microstructure of high-speed steel HSS hardened by the aerodynamic sound method. *Vestnik BarGU. Seriya Tekhnicheskie nauki = BarSU Herald. Series Engineering*. 2022;(1(11)):14-23. <https://rep.barsu.by/items/bbbd7b09-1bd9-4b5a-9969-3cfe1f20c57d> (In Russ.)
9. Severdenko VP, Klubovich VV. Primenenie ul'trazvuka v promyshlennosti = Application of ultrasound in industry. Minsk: Nauka i tekhnika; 1967:264. (In Russ.)

## Сведения об авторах

## Information about the authors

**Горавский Игорь Андреевич**

Магистр технических наук. Руководитель секции технологии машиностроения кафедры технологии и оборудования машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Республика Беларусь

*E-mail: igorgoravskii@mail.ru*

**Жигалов Анатолий Николаевич**

Доктор технических наук, доцент. Директор ГНУ «Институт технологии металлов НАН Беларуси», г. Могилев, Республика Беларусь. Профессор кафедры технологии и оборудования машиностроения учреждения образования «Барановичский государственный университет», г. Барановичи, Республика Беларусь

*E-mail: Jigalov6@mail.ru*

**Igor A. Goravsky**

Master of Technical Sciences. Head of the Mechanical Engineering Technology Section of the Department of Technology and Equipment of Mechanical Engineering of the educational institution "Baranovichi State University", Baranovichi, Republic of Belarus

*E-mail: igorgoravskii@mail.ru*

**Anatoly N. Zhigalov**

D. Sc. in Eng., Assoc. Prof. Director of the National Research University "Institute of Metal Technology of the National Academy of Sciences of Belarus", Mogilev, Republic of Belarus. Professor at the Department of Technology and Equipment of Mechanical Engineering, Baranovichi State University, Baranovichi, Republic of Belarus

*E-mail: Jigalov6@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 11.12.2024.

# Рациональное применение модульных конструкций режущих инструментов на основе уравнивания стойкости различных их типов в инструментальных магазинах станков с ЧПУ

Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, В. С. Анисимов, Д. А. Башлачев  
Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Аннотация.** Целью работы является повышение производительности обработки заготовок на станках с ЧПУ. Для достижения цели предлагается система блочно-модульных режущих инструментов и решение задачи уравнивания стойкости различных типов режущих инструментов в процессе резания и повышения их надежности на основе технологических регламентов дефектации и настройки вне станка.

Используются аналитические и экспериментальные методы исследования, позволяющие установить зависимости скорости резания от стойкости режущего инструмента с учетом показателей относительной стойкости, коэффициента обрабатываемости материалов и коэффициента уравнивания как отношение значения скорости обработки данным инструментом к скорости обработки лимитирующим инструментом.

Рассмотрена система блочно-модульных режущих инструментов, основанная на унифицированном блоке резцовом, который устанавливается в различные типы режущих инструментов. Инструменты имеют простые по конфигурации и надежные элементы установки пластин режущих в державке и блоков резцовых в корпусах режущих инструментов. Приведен алгоритм расчета коэффициента уравнивания стойкости и разработки технологического регламента.

На примере технологических процессов изготовления деталей показана эффективность предлагаемой методики уравнивания стойкости режущих инструментов. Результаты исследований могут быть использованы в многономенклатурном производстве деталей на станках с ЧПУ.

*Ключевые слова:* блочно-модульный режущий инструмент, инструментальный магазин станка с ЧПУ, уравнивание стойкости инструмента, технологический регламент.

## Rational Application of Modular Cutting Tools Based on Equalization of Resistance of Their Various Types in Tool Banks of CNC Machines

Nikolay N. Popok, Ruslan S. Khmelnytsky, Vitaly S. Anisimov, Dmitry A. Bashlachev  
Educational institution "Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk",  
Novopolotsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The aim of the work is to increase the productivity of workpiece processing on CNC machines. To achieve this goal, a system of block-modular cutting tools and a solution to the problem of equalizing the durability of various types of cutting tools during cutting and increasing their reliability based on technological regulations for defect detection and adjustment outside the machine are proposed.

Analytical and experimental research methods are used to determine the dependence of the cutting speed on the durability of the cutting tool, taking into account the indicators of relative durability, the coefficient of material machinability, and the equalization coefficient as the ratio of the value of the processing speed of a given tool to the processing speed of the limiting tool.

The system of block-modular cutting tools based on a unified cutting block, which is installed in various types

of cutting tools, is considered. The tools have simple in terms of configuration and reliable elements for installing cutting plates in the holder and cutting blocks in the bodies of cutting tools. An algorithm for calculating the coefficient of equalization of durability and developing process regulations is given.

The efficiency of the proposed method for equalizing the durability of cutting tools is shown using the example of technological processes for manufacturing parts. The research results can be used in multi-product manufacturing of parts on CNC machines.

*Keywords: block-modular cutting tool, tool shop of a CNC machine, tool durability equalization, technological regulations.*

## ВВЕДЕНИЕ

При освоении машиностроительными предприятиями выпуска новой продукции требуется разработка технологических процессов изготовления деталей и соответствующее обеспечение станочным оборудованием и оснасткой. Зачастую для достижения этой цели используется имеющееся в наличии оборудование и при необходимости закупается новое оборудование. Как правило, это приводит к применению станков разных производителей, а в случае станков с ЧПУ – еще и к большому разнообразию используемых режущих инструментов. В результате, закупка разных типов режущих инструментов у различных фирм-производителей оказывается дороже стоимости самого оборудования. Поэтому ставятся задачи, во-первых, по возможности минимизировать количество и унифицировать конструкции применяемого режущего инструмента. При этом следует иметь ввиду, что в случае станков с ЧПУ количество используемых разных типов режущих инструментов ограничивается емкостью их инструментальных магазинов. Во-вторых, необходимо сократить время простоев станков в связи с заменой режущих инструментов, их дефектацией и настройкой [1, 2].

Для решения этих задач предлагается использовать систему модульных режущих инструментов разных типов, включающую унифицированные взаимозаменяемые резцовые блоки [3]. При эксплуатации разных типов режущих инструментов предусматривается уравнивание их стойкости за счет регулирования режима резания и времени обработки [4]. При изготовлении деталей партиями оптимизируется количество этих партий и режущих инструментов в инструментальном магазине станка, что, в конечном итоге, обеспечивает одновременную замену режущих инструментов и быструю их дефектацию и настройку.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Разрабатывается система блочно-модульных режущих инструментов (БМРИ) [5, 6], формирование которой включает несколько этапов (рис. 1). Исходя из конфигурации конструктивного элемента (КЭ) и поверхности (П) детали выбирается вид обработки, определяемый движениями заготовки и ин-

струмента – токарный, осевой, фрезерный и другие и тип режущего инструмента (РИ) (Блочно-модульные режущие инструменты. Альбом: учебно-методическое пособие / Н.Н. Попок, В.А. Терентьев, Г.И. Гвоздь, С.А. Портянко. – Новополоцк: Полоц. гос. ун-т 2021. – 164 с.) [7].

Далее выбирается тип пластины режущей (ПР), соответствующий типу режущего инструмента (РИ) и виду обработки резанием. В нашем случае номенклатура пластин режущих ограничивается предлагаемой конструкцией переходника между пластиной режущей и модулем корпусным (МК) – блоком резцовым (БР). В блоке резцовом (рис. 2) паз для установки ПР выполняется открытым и базирование пластины режущей осуществляется по поверхности основания (опорная база – три степени свободы  $B1, B2, B3$ ) и боковым ее поверхностям (направляющая база – две степени свободы  $B4, B5$ ).

Поверхности паза под пластину режущую могут выполняться «под углом» с учетом требований по обеспечению значений передних и задних углов, углов в плане и т. д. Исключение шестой степени свободы пластины режущей обеспечивается за счет модуля зажимного (МЗ), выполняемого в виде «тянущего» прихвата, один конец которого устанавливается на переднюю поверхность режущей пластины или посредством штифта  $З$  в ее отверстие. За счет второго конца прихвата, выполненного со скосом  $г$  и контактирующего со скошенной поверхностью  $в$  державки блока резцового, обеспечивается зажим пластины режущей по основанию и боковой поверхности.

Базирование прихвата осуществляется по боковым его поверхностям (направляющая база – четыре степени свободы  $A1, A2, A3, A4$ ), а также по прижимной и скошенной его частям (две степени свободы). Прихват устанавливается в пазу державки блока резцового по поверхности  $б$  с зазором, имея жесткий допуск в поперечном направлении и возможность перемещения в продольном направлении по отношению к пазу державки.

Таким образом, пластина режущая надежно закрепляется в пазу корпуса блока резцового по основанию и боковой поверхности и удерживается от перемещений по ее двум другим боковым сторонам

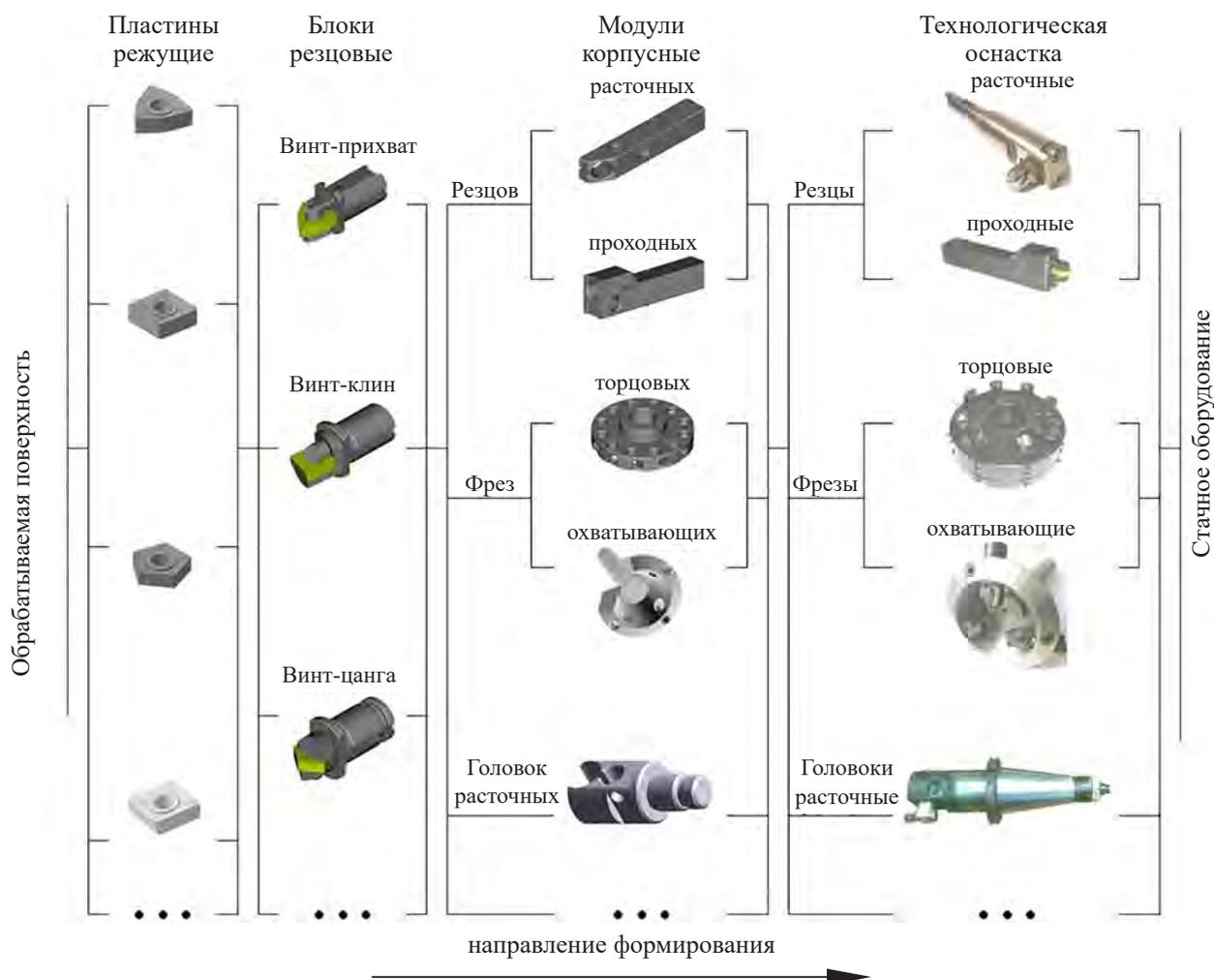


Рисунок 1 – Схема формирования блочно-модульного режущего инструмента  
Figure 1 – Scheme of formation of a block-modular cutting tool

«тянущим» прихватом. Прихват «тянущий» выполняется или Т-образным с вворачиваемым в него винтом, или в виде цанги, или полуцанги.

Для установки блока резцового в модуле корпусном из большого многообразия установочных элементов в виде плоскости, Т-образных пазов и пазов в форме «ласточкин хвост», рифлений и т. п., была выбрана цилиндрическая поверхность. На цилиндрической поверхности выполнены продольные пазы для фиксации блока резцового от проворота. Блок резцовый также может иметь на одной торцевой поверхности буртики для его зажима прихватами, а на другой – вворачиваемый винт  $b$  для регулировки вылета блока резцового в осевом направлении.

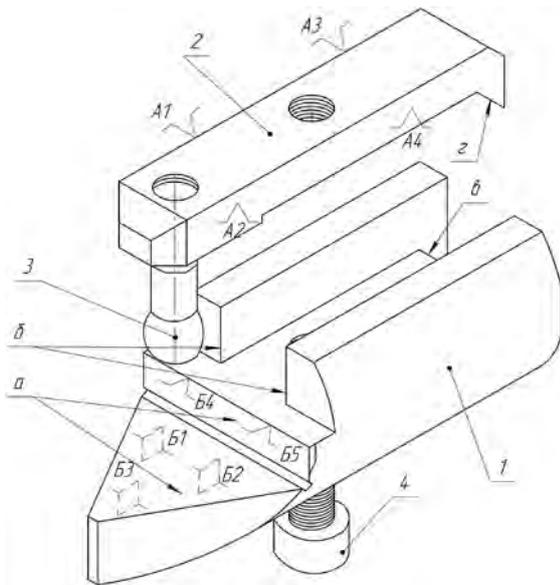
Отверстие (его расположение) в модуле корпусном для установки блока резцового выполняется с учетом вида обработки, типов режущего инструмента и режущей пластины («негатив» и «позитив») и т. п.

Из большого многообразия зажимных элементов для закрепления блока резцового выбран двухклиновой зажим, включающий два сухаря и скрепляющий их винт.

В многолезвийных режущих инструментах (осевых, фрезерных и т. п.) имеется возможность регулировки радиального и торцевого биения блоков резцовых, предусматриваются модули балансировочные в виде «грузиков» – регулируемых винтов с заглушками, спиральных колец и т. п. [8].

Как известно [9], наименее надежным звеном в РИ является его режущее лезвие, а в составном и сборном РИ – ПР, которые изнашиваются и разрушаются в процессе резания одними из первых. В сборном и составном РИ разрушение ПР приводит к поломке МК РИ. Стоимость замены ПР и МК составляет в зависимости от типа РИ от 10 до 1000 у. е.

С экономической и технологической точек зрения целесообразно использовать установку ПР



1 – державка; 2 – прихват; 3 – штифт;  
4 – винт; A1, A2, A3, A4 – значки направляющих баз прихвата; B1, B2, B3 – значки опорной базы под пластину режущую в державке; B4, B5 – значки установочной базы под пластину режущую в державке  
1 – holder; 2 – clamp; 3 – pin;  
4 – screw; A1, A2, A3, A4 – icons of the guide bases of the clamp; B1, B2, B3 – icons of the support base for the cutting holder plate; B4, B5 – icons of the mounting base for the cutting insert in the holder

**Рисунок 2 – Блок рецзовый**  
**Figure 2 – Cutting block**

в кассету, картридж, БР, замена которых дешевле в 2–10 раз по сравнению с заменой МК. Но применяемые кассеты в разных типах РИ и у разных инструментальных фирм – разные и такая замена тоже является дорогой.

Использование предлагаемой системы БМРИ с унифицированным БР наиболее экономически выгодный вариант, т. к. позволяет быстро окупить затраты как на этапах его проектирования и изготовления, так и на этапе эксплуатации. При проектировании и изготовлении такого инструмента используется меньшее количество разных модулей (режцовых, зажимных, регулировочных и т. д.) за счет унификации их присоединительных поверхностей и конструктивных элементов и применяется однотипная технологическая оснастка. В процессе эксплуатации БМРИ за счет унификации модулей сокращается время и затраты на его замену в инструментальном магазине станка, разборку, дефектацию и сборку вне станка.

В качестве критериев оценки эффективности БМРИ по сравнению со стандартным РИ принимаются [10]:

- надежность РИ, включающая стойкость  $T$ , мин; ремонтпригодность  $\tau_p$ , мин; взаимозаменяемость  $\tau_o$ , мин;
- качество (шероховатость,  $Ra$ , мкм) и точность (квалитет  $IT$ ) обработки (получаемых деталей);
- производительность обработки П (трудоемкость  $\tau_o, \tau_{н.з.}$ , мин);
- себестоимость обработки  $C$ , руб.;

При этой оценке возможны следующие варианты:

1. При сохранении заданной П и работе изношенным РИ ухудшается качество и точность обработки, что требует своевременной замены РИ.

2. При уменьшении П за счет уменьшения параметров режима резания (скорость  $v$  и подача  $S$ ) и сохранении заданной  $T$  будет снижаться качество обработки. Необходимо сопоставить себестоимость РИ и себестоимость получения детали.

3. При достижении заданных параметров качества и точности детали необходимо увеличить скорость резания, что приведет к снижению стойкости РИ.

Выбор того или иного варианта определяется конкретными условиями изготовления реальной детали.

Выдвигается гипотеза, что применение унифицированного БР в разных типах режущих инструментов (проходных, подрезных и расточных резцах, сверлах, зенкерах, концевых, дисковых и торцовых фрезах и т. д.), при их установке в инструментальном магазине станка (не менее трех типов) и обеспечении сопоставимого времени обработки конструктивных элементов и поверхностей деталей в соответствии с уравниваемой стойкостью конкретного РИ, одновременной их замене (снятии, разборке, дефектации, восстановлении, сборке и настройке вне станка) позволит сократить вспомогательное время, время простоев станка и повысить производительность обработки на одном рабочем месте. При этом уравнивание стойкости различных типов режущих инструментов производится путем задания времени работы станка до его остановки (одно-, двух-, трехменная работа) и определения скорости резания каждым инструментом через коэффициент уравнивания при заданном или стандартом, или справочником, или каталогом значений его стойкости.

Основное время обработки конструктивных элементов и поверхностей реальных деталей в сопоставлении со стойкостью РИ регулируется количеством однотипных РИ в инструментальном магазине станка и количеством изготавливаемых деталей в партии.

Алгоритм уравнивания стойкости режущих инструментов включает следующие основные этапы:

1. Выбор в магазине станка лимитирующего  $PI_{lim}$ .
2. Определение значения лимитирующей скорости резания  $v_{lim}$ .

3. Определение коэффициента уравнивания стойкости  $K_{уравн.i}$  для каждого  $i$ -го типа РИ, используемого в переходе, операции с учетом марки инструментального материала:

$$K_{уравн.i} = v_i / v_{lim},$$

где  $v_i$  – значение скорости резания для  $i$ -го типа режущего инструмента или марки инструментального материала;  $v_{lim}$  – скорость резания для лимитирующего РИ<sub>lim</sub> или инструментального материала.

При расчете  $K_{уравн.i}$  в зависимости от обрабатываемых конструктивных элементов и поверхностей детали возможны следующие варианты:

1.  $v_{lim} = v_{min} \rightarrow T_{lim} = T_{min}$  и  $v_i$  возрастает значительно, а  $T_i$  уменьшается до  $T_i = T_{lim}$ ;
2.  $v_{lim} < v_{min}$  и  $T_{lim}$  увеличивается, при этом  $v_i$  увеличивается значительно и  $T_i = T_{lim} = T_{max}$ ;
3.  $v_{lim}$  увеличивается до  $v_{lim} = v_{max}$  и  $T_{lim}$  уменьшается, при этом  $v_i = v_{max}$  и  $T_i = T_{lim} = T_{max}$ .
4. Определение  $K_{уравн.i}$  для каждого заданного значения стойкости  $T$ .

5. Расчет и построение графических зависимостей  $K_{уравн.i}$  для каждого типа РИ (перехода или марки материала).

6. Расчет основного времени работы РИ на каждом переходе и сопоставление его со стойкостью РИ:

$$\tau_o = L_i / S_{mi},$$

где  $L_i$  – длина обработки  $i$ -тым инструментом;  $S_{mi}$  – минутная подача  $i$ -го инструмента.

В свою очередь:

$$S_{mi} = S_{oi} \cdot n_i = S_{oi} \cdot \frac{1000 v_i}{\pi D_i},$$

где  $v_i$  – значение скорости  $i$ -го инструмента, м/мин;  $D_i$  – диаметр  $i$ -го инструмента или  $i$ -ой детали, мм.

Определение производительности  $P$ :

$$P = T / \tau_o,$$

где  $\tau_o$  – основное время, мин;  $T$  – стойкость РИ.

7. Расчет и построение графических зависимостей  $T_i$  от  $v_i$  или  $v_i$  от  $T_i$  для каждого типа РИ, перехода или марки инструментального материала.

8. Расчет уравненной скорости резания для каждого типа РИ (марки инструментального материала):

$$v_{урав.} = v_i \cdot K_{уравн.i}.$$

9. Определение коэффициента уравнивания для инструментального магазина станка  $K_{уравн.и.м.}$  исходя из одновременной замены РИ и комплекта обработанных поверхностей  $N_n$ , конструктивных

элементов  $N_{к.э.}$  и деталей  $N_d$  ( $\tau_{шт.к.}$  – штучно-калькуляционное время). Определение загрузки инструментального магазина:

$$N_3 = \sum PI.$$

10. Определение надежности разных типов РИ (марки инструментальных материалов)  $K_{уравн.н.}$  с учетом их стойкости (долговечности) и ремонтно-пригодности (времени замены в инструментальном магазине станка  $\tau_3$ ) и вне станка  $\tau_o$  (диагностики и дефектации).

11. Разработка технологического регламента одновременной замены, дефектации и настройки режущих инструментов.

Если уравненная скорость (стойкость) отдельных РИ получается значительно меньше других, то рассчитывается дополнительное количество однотипных РИ, устанавливаемых в инструментальном магазине (ИМ) станка, или определяется количество деталей в партии, обеспечивающих «догрузку» РИ, имеющих наибольшую стойкость.

Воспользовавшись данными фирмы Mitsubishi (Токарный инструмент. Вращающийся инструмент. Инструментальные системы // Общий каталог фирмы «Mitsubishi» (Япония), 2007–2009), представленных в виде графиков на рисунке 3, рассчитываются показатель относительной стойкости  $m$  и поправочный коэффициент на скорость резания  $C_v$ , учитывающий свойства обрабатываемого материала из формулы:

$$v_i = C_{vi} / T_i^m,$$

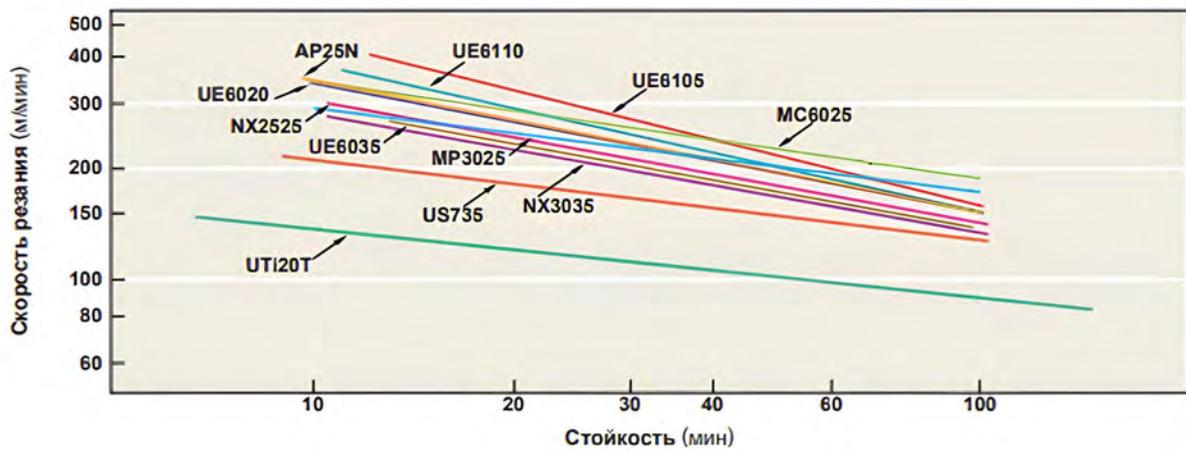
коэффициент уравнивания по формуле:

$$K_{уравн.i} = v_i / v_{lim}.$$

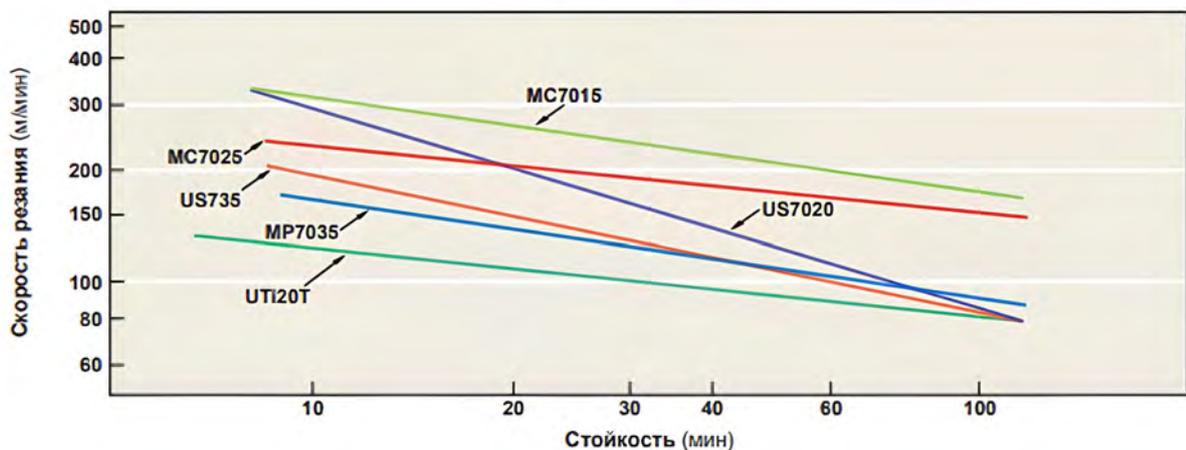
Результаты расчетов представлены в таблице 1.

В диапазоне скоростей  $v = 120$ – $270$  м/мин для сплава Р-класса  $K_{уравн.i}$  изменяется в диапазоне от 1,00 до 2,25, показатель относительной стойкости –  $m = 0,11 \div 0,25$ , поправочный коэффициент  $C_{vi} = 172$ – $630$ . В каталогах фирмы Mitsubishi отмечается, что увеличение скорости резания на 20 % приводит к снижению стойкости инструмента на 50 %, а увеличение скорости резания на 50 % уменьшает стойкость инструмента на 80 %. Эти данные также свидетельствуют о том, что показатель относительной стойкости изменяется в пределах значений равных  $m = 0,2$ .

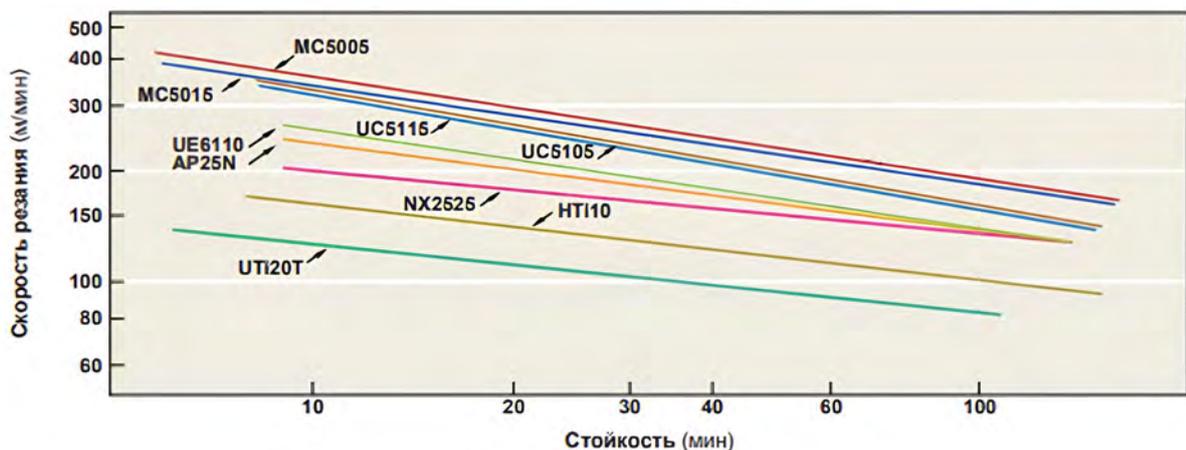
По отдельным значениям показателя относительной стойкости  $m$  и поправочного коэффициента  $C_v$  были пересчитаны  $K_{уравн.i}$  для разных типов режущих инструментов и периодов стойкости, которые представлены в таблице 2 и в виде графиков на рисунке 4.



а (а)



б (б)



в (с)

Рисунок 3 – Значения периода стойкости режущих пластин из каталога фирмы Mitsubishi:  
 а – сплавы Р-класса, заготовка: DIN Ck45 180HB;  
 б – сплавы М-класса, заготовка: DIN X5CrNi189 200HB;  
 в – сплавы К-класса, заготовка: DIN GG30 180HB; стандартная стойкость:  $V_B = 0,3$  мм, глубина резания: 1,5 мм, подача: 0,3 мм/об, державка: PCLNR 2525 M12, пластина: CNMG 120408, сухое резание  
 Figure 3 – Values of the cutting plate durability period from the Mitsubishi catalog:  
 а – P-class alloys, billet: DIN Ck45 180HB; б – M-class alloys, billet: DIN X5CrNi189 200HB;  
 в – K-class alloys, billet: DIN GG30 180HB; standard resistance:  $V_B = 0,3$  mm, cutting depth: 1.5 mm, feed: 0.3 mm/rpm, holder: PCLNR 2525 M12, plate: CNMG 120408, dry cutting

Таблица 1 – Значения показателя относительной стойкости и коэффициента уравнивания режущих пластин фирмы Mitsubishi

Table 1 – Values of the relative durability indicator and the equalization coefficient of Mitsubishi cutting inserts

Показатели Покрывтие	$\alpha, ^\circ$	$t$	$v, \text{ м/мин}$	$T, \text{ мин}$	$C_v$	$K_{\text{уравн.}}$
Сплавы Р-класса						
UTi20T	6	0,11	130	10	166	1,00
US735	7	0,12	210	10	279	1,62
NX3035	7,9	0,14	-	10	-	-
UE6035	8	0,14	-	10	-	-
NX2525	9	0,16	-	10	-	-
UE6020	10,9	0,19	340	10	530	2,62
AP25N	11	0,19	350	10	548	2,69
UC6010	11,5	0,20	380	10	607	2,92
UE6110	12	0,21	-	10	-	-
UE6005	14	0,25	-	10	-	-
Сплавы М-класса						
UTi20T	6	0,11	125	10	159	1,00
US735	11	0,19	190	10	297	1,52
US7020	16	0,29	290	10	561	2,32
Сплавы К-класса						
UTi20T	6	0,11	125	10	159	1,00
HTi10	7	0,12	170	10	226	1,36
NX2525	5	0,09	205	10	251	1,64
AP25N	7	0,12	250	10	332	2,00
UE6110	8	0,14	270	10	373	2,16
UC5115	13	0,23	405	10	689	3,24
UC5105	15	0,27	450	10	834	3,60

Таблица 2 – Значения коэффициента уравнивания для разных типов режущих инструментов и периодов стойкости

Table 2 – Values of the equalization coefficient for different types of cutting tools and service life periods

Значение периода стойкости, мин		15	30	45	60	90
Коэффициент уравнивания		1	0,83	0,74	0,69	0,62
№	Тип режущего инструмента	Скорость резания, м/мин				
1	Резец проходной отогнутый	250	207,5	185	172,5	155
2	Резец расточной	130	107,9	96,2	89,7	80,6
3	Резец канавочный	120	99,6	88,8	82,8	74,4
4	Концевая фреза d20	140	116,2	103,6	96,6	86,8

Окончание таблицы 2

End of table 2

5	Торцовая фреза d100	220	182,6	162,8	151,8	136,4
6	Торцовая фреза d14	180	149,4	133,2	124,2	111,6
7	Сверло d14	70	58,1	51,8	48,3	43,4
8	Сверло d30	100	83	74	69	62

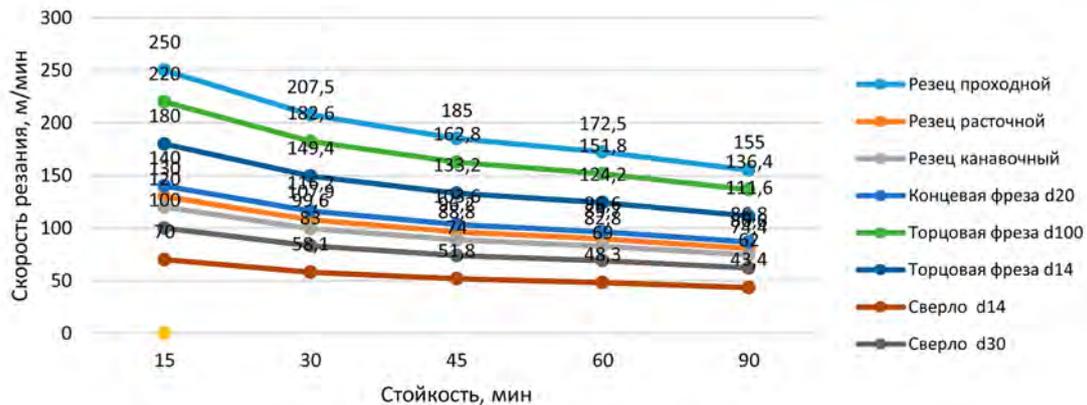


Рисунок 4 – Зависимости скорости резания от стойкости для разных типов режущих инструментов  
 Figure 4 – Dependence of cutting speed on durability for different types of cutting tools

Результаты расчета  $K_{уравн.i}$  для разных типов режущих инструментов по данным справочника (Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т.2 / Под ред. А. М. Дальского, А. Г. Косиловой, Р. К. Мещерякова – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 2001. – 944 с.) представлены в таблицах 3 и 4.

Значения коэффициента уравнивания в таблицах 3, 4 имеют практически одинаковые значения, т. к. соотношения между скоростями резания между разными типами режущих инструментов останутся неизменными при приведении их к одинаковой

стойкости. Эти данные позволяют выбрать лимитирующий режущий инструмент и произвести процедуру уравнивания стойкости режущего инструмента согласно предложенному алгоритму. Например, в качестве лимитирующего режущего инструмента выбирается инструмент, имеющий максимальную или минимальную стойкость, либо скорость резания.

В качестве примера в таблице 5 приведены сравнительные данные по трудоемкости (времени и стоимости) замены, дефектации и настройки стандартных и блочно-модульных режущих инструментов.

Таблица 3 – Коэффициенты уравнивания для различных типов режущих инструментов при стойкости  $T = 15$  мин

Table 3 – Equalization coefficients for various types of cutting tools with durability  $T = 15$  min

Режущий инструмент	$T$ , мин	$v$ , м/мин	$C_v$	$m$	$K_{уравн.}$
Резец проходной	15	250	350	0,2	3,57
Резец расточной	15	130	350	0,2	1,85
Резец канавочный	15	120	47	0,2	1,71
Фреза концевая d20	15	140	46,7	0,33	2
Фреза торцовая d14	15	180	332	0,2	2,57
Фреза торцовая d100	15	220	332	0,2	3,14
Сверло d14	15	70	34,2	0,2	1
Сверло d30	15	100	34,2	0,2	1,42

Таблица 4 – Коэффициенты уравнивания для различных типов режущих инструментов при стойкости  $T = 60$  мин

Table 4 – Equalization coefficients for various types of cutting tools with durability  $T = 60$  min

Режущий инструмент	$T$ , мин	$v$ , м/мин	$C_v$	$m$	$K_{уравн.}$
Резец проходной	60	155	350	0,2	3,57
Резец расточной	60	86	350	0,2	1,98
Резец канавочный	60	74	47	0,2	1,7
Фреза концевая d20	60	80	46,7	0,33	1,84
Фреза торцовая d14	60	111	332	0,2	2,55
Фреза торцовая d100	60	136	332	0,2	3,13
Сверло d14	60	43,4	34,2	0,2	1
Сверло d30	60	62	34,2	0,2	1,43

Таблица 5 – Общий технологический регламент замены режущих инструментов в инструментальном магазине станка

Table 5 – General technological regulations for replacing cutting tools in the tool bank of the machine

№ п/п	Наименование дефекта	Стандартный режущий инструмент	Время, мин	Блочно-модульный режущий инструмент	Время замены, мин
1	Износ грани пластины режущей (ПР)	Замена изношенной грани на новую: – вывернуть винт; – снять ПР; – повернуть ПР на новую грань; – поставить ПР в корпус; – завернуть винт	2 мин	Замена блока резцового (БР): – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт	2 мин
2	Разрушение грани ПР	Замена ПР: – вывернуть винт; – снять ПР; – повернуть ПР на новую грань; – поставить ПР в корпус; – завернуть винт	2 мин	Замена БР: – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт	2 мин
3	Разрушение ПР с повреждением корпуса	Замена режущего инструмента: – снять РИ со станка; – поставить новый РИ; – вывести инструмент в нулевую точку	12 мин	Замена БР: – отвернуть винт; – снять БР; – поставить новый БР; – завернуть винт	2 мин
4	Замена режущего инструмента (РИ)	Замена режущего инструмента: – снять РИ со станка; – поставить новый РИ; – вывести инструмент в нулевую точку	10 мин	Замена режущего инструмента: – снять БМРИ со станка; – поставить новый БМРИ; – вывести инструмент в нулевую точку	10 мин
$\Sigma$			26 мин		16 мин

Как следует из данных таблицы 5, при традиционной замене и дефектации режущих инструментов по мере потери ими режущих свойств применение блочно-модульных режущих инструментов сокращает трудоемкость в 2,1÷2,7 раза; при одновременной замене всех инструментов по окончании рабочей смены трудоемкость и цена в случае применения БМРИ сокращается в 1,67 раза.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана система блочно-модульных режущих инструментов, отличающаяся универсальностью применения и простотой изготовления и позволяющая обеспечить экономию материальных и финансовых средств как при изготовлении инструмента, так и при механической обработке различных конструктивных элементов и поверхностей деталей.

2. Предложена методика уравнивания стойкости различных типов режущих инструментов с использованием коэффициента уравнивания по скоро-

сти и показателю относительной стойкости, которая позволяют анализировать технологические процессы изготовления деталей и выбирать оптимальный вариант их реализации.

3. На примерах технологических процессов изготовления деталей установлены возможности одновременной замены всех типов режущих инструментов в инструментальном магазине станка на основе выбора лимитирующего инструмента и регулирования количества режущих инструментов и изготавливаемых деталей, что позволяет сократить трудоемкость и повысить производительность обработки поверхностей деталей.

4. Разработан технологический регламент замены, дефектации и настройки режущих инструментов, который показал преимущества применения блочно-модульных конструкций по сравнению со стандартными, обеспечивающими сокращение трудоемкости и стоимости проводимых работ от 1,2 до 2,7 раз.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барина, Д. А. Оптимизация времени смены инструмента при токарной обработке на станках с ЧПУ [Электронный ресурс] / Д. А. Барина // Электронный журнал: наука, техника и образование. – 2017. – № 4. – С. 1–5. – Режим доступа: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/663c1cbc85d24234bd10c5086dea1412.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024.
2. Калмыков, В. В., Барина, Д. А. Оптимизация времени смены инструмента при изготовлении деталей на фрезерных станках с ЧПУ [Электронный ресурс] / В. В. Калмыков, Д. А. Барина // Электронный журнал: наука, техника и образование. – № 2. – 2018. – С. 1–5. – Режим доступа: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/b80d6bd8392dff4d1bfb638637ef890b.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024.
3. Конструирование и оснащение технологических комплексов / А. М. Русецкий [и др.]; под общ. ред. А. М. Русецкого. – Минск : Беларуская навука, 2014. – 316 с.
4. Попок, Н. Н. Уравнивание стойкости режущих инструментов при обработке на станках с ЧПУ / Н. Н. Попок, Г. И. Гвоздь // Тезисы докладов 38-й международной научной конференции «Перспективные направления развития технологии машиностроения и металлообработки. Технология – оборудование – инструмент – качество» / ред. В. К. Шелег [и др.]. – Минск : Бизнессофт, 2024. – С. 57–58.
5. Способ установки сменной режущей пластины в режущем инструменте : патент ВУ 19260 / Н. Н. Попок, В. А. Терентьев, Р. С. Хмельницкий, А. В. Сидикевич, И. Я. Сопиков. – Заявка на изобретение № а 20110025 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16. – Оpubл. 26.03.2015.
6. Режущий инструмент : патент ВУ 19226 / Н. Н. Попок, В. А. Терентьев, Р. С. Хмельницкий, А. В. Сидикевич, И. Я. Сопиков. – Заявка на изобретение № а 20110026 от 06.01.2011. С1МПКВ23В27/16. – Оpubл. 09.03.2015.
7. Попок, Н. Н. Мобильная реорганизация машиностроительного производства / Н. Н. Попок. – Минск : Технопринт, 2001. – 396 с.
8. Многолезвийный блочно-модульный режущий инструмент : патент ВУ23736 / Попок Н. Н., Портянко С. А. // Заявка на изобретение №20200344 от 02.12.2020. С1МПКВ23С5/24, В23В27/12. – Оpubл. 26.04.2022.
9. Попок, Н. Н. Повышение экономичности режущих инструментов на основе модульных конструкций / Н. Н. Попок, А. В. Сидикевич, М. Ю. Ивановская, М. В. Сидикевич // Машиностроение : республиканский межведомственный сборник научных трудов : в 2 т. – Минск : БНТУ, 2005. – Т. 1. – Вып. 21. – С. 143–150.
10. Тивирев, Е. Г. Критерии оценки эксплуатационного ресурса инструмента / Е. Г. Тивирев, К. Б. Даниленко // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2017. – № 4. – С.112 – 120. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-4-112-120.

## REFERENCES

1. Barinova DA. Optimization of tool change time during turning on CNC machines. *Elektronnyy zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2017;4:1–5. Available from: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/663c1cbc85d24234bd10c5086dea1412.pdf> [Accessed 18 September 2024]. (In Russ.)
2. Kalmykov VV., Barinova DA. Optimization of tool change time when manufacturing parts on CNC milling machines. *Elektronnyy zhurnal: nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2018;2:1–5. Available from: <https://nto-journal.ru/uploads/articles/b80d6bd8392dff4d1bf638637ef890b.pdf> [Accessed 18 September 2024]. (In Russ.)
3. Rusetsky AM et al. Konstruirovaniye i osnashcheniye tekhnologicheskikh kompleksov = Design and equipment of technological complexes / ed. Rusetsky AM. Minsk : Belaruskaya navuka; 2014:316. (In Russ.)
4. Popok NN, Gvozd GI. Equalizing the durability of cutting tools when processed on CNC machines. In: Sheleg VK (ed.) et al Tezisy dokladov 38-y mezhhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Perspektivnye napravleniya razvitiya tekhnologii mashinostroeniya i metalloobrabotki. Tekhnologiya – oborudovaniye – instrument – kachestvo». Minsk: Biznessoft; 2024:57–58. (In Russ.)
5. Popok NN, Terentyev VA, Khmel'nitskiy RS, Sidikevich AV, Sopikov IY. Sposob ustanovki smennoy rezhushchey plastiny v rezhushchem instrumente = Method for installing a replaceable cutting plate in a cutting tool. Patent BY19260. Application for invention No. a 20110025, 01.06.2011. S1MPKV23V27/16. (In Russ.)
6. Popok NN, Terentyev VA, Khmel'nitskiy RS, Sidikevich AV, Sopikov IY. Rezhushchiy instrument = Cutting tools. Patent BY19226. Application for invention No. a 20110026, 01.06.2011. S1MPKV23V27/16.
7. Popok NN. Mobil'naya reorganizatsiya mashinostroyitel'nogo proizvodstva = Mobile reorganization of mechanical engineering production. Minsk: Tekhnoprint, 2001:396. (In Russ.)
8. Popok NN, Portyanko SA. Mnogolezviynnyy blochno-modul'nyy rezhushchiy instrument = Multi-blade block-modular cutting tool. Patent BY23736. Application for invention No. 20200344, 12.02.2020. S1MPKV23S5/24, V23V27/12. (In Russ.)
9. Popok NN, Sidikevich AV, Ivanovskaya MY, Sidikevich MV. Increasing the efficiency of cutting tools based on modular designs. In: Mashinostroeniye : respublikanskiy mezhvedomstvennyy sbornik nauchnykh trudov : v 2 t. Minsk: BNTU; 2005;1(21):143-150.
10. Tivirev EG, Danilenko KB. Criteria for assessing the operational life of a tool. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya «Mashinostroeniye»*. 2017;4:112–120. (In Russ.)

## Сведения об авторах

## Information about the authors

**Попок Николай Николаевич**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

*E-mail: n.popok@psu.by*

**Хмельницкий Руслан Сергеевич**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

*E-mail: r.khmialnitski@psu.by*

**Nikolay N. Popok**

Dr. Sc. (in Eng.), Prof., head of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

*E-mail: n.popok@psu.by*

**Ruslan S. Khmel'nitskiy**

Cand. Sc. (in Eng.), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

*E-mail: r.khmialnitski@psu.by*

**Анисимов Виталий Сергеевич**

Магистр технических наук, заведующий лабораториями кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

*E-mail: v.anisimov@psu.by*

**Башлачёв Дмитрий Анатольевич**

Магистр технических наук, соискатель кафедры технологии и оборудования машиностроительного производства учреждения образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Vitaly S. Anisimov**

Master of Sciences (in Eng.), head of Laboratories of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

*E-mail: v.anisimov@psu.by*

**Dmitry A. Bashlachev**

Master of Sciences (in Eng.), candidate of the Department of Technology and Equipment of Machine-Building Production, Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Republic of Belarus

Статья поступила в редакцию 05.12.2024.

## Конфигурируемый захват манипулятора

<sup>1</sup>Е. В. Чукасова-Ильюшкина, <sup>2</sup>Е. С. Данилов

<sup>1</sup>Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Общество с ограниченной ответственностью «Лацит – Лаборатория цифровых технологий»  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Роботизация оборудования, предназначенного для обувной промышленности, предусматривает использование особых инструментов, которые применимы при работе с такими материалами как натуральная кожа и материалами, приближенными по свойствам к натуральной коже. Технологический процесс изготовления верха обуви из натуральной кожи или материалов, ей подобных, подразумевает формирование уникальных деталей каждый раз при смене ассортимента, таким образом, возникает необходимость в разработке такого приспособления, которое будет свободно конфигурироваться под форму уникальных деталей и извлекать их из раскройного ковра, перемещая в зону комплектации. Решением поставленной технологической задачи является создание конфигурируемого захвата манипулятора, содержащего неподвижные и подвижные рельсы, подвижность последних обеспечена двигателями. В свою очередь подвижные рельсы имеют схватные элементы, в качестве которых возможны различные варианты (присоски, иголки, пальцы-зажимы). Число устанавливаемых схватных элементов 4 – по одной на каждой стороне подвижного рельса.

Целью исследования является исключение неоправданного многообразия возможных вариантов схватных элементов, применимых для плоских и гибких деталей, и установление определенных закономерностей и рекомендаций в их выборе. Исследования проводились эмпирическим путём с применением следующих методов: наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент. По результатам проведённого исследования установлено следующее: для извлечения деталей кроя из раскройного ковра натуральной кожи рекомендуется использование присосок производства SCHMALZ (Германия) SFF 20 каучук, SFF20 полиуретан, SPF 17.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для предприятий обувной, текстильной промышленности, использующих роботизированные линии и вакуумные инструменты.

*Ключевые слова:* робот-манипулятор, конфигурируемый захват, присоски, вакуум, извлечение.

## Configurable Manipulator Grip

<sup>1</sup>Ekaterina V. Chukasova-Ilyushkina, <sup>2</sup>Evgeniy S. Danilov

<sup>1</sup>Educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Limited liability Company "Lacit – Laboratory of Digital Technologies"  
Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Robotization of equipment intended for the shoe industry involves the use of special tools that are applicable when working with materials such as leather and materials similar in properties to natural leather. The technological process of manufacturing shoe uppers from genuine leather or similar materials is the formation of unique parts each time the assortment changes. Thus, there is a need to develop a device that will be freely configured to fit the shape of unique parts and extract them from the cutting mat, moving the cut parts to the assembly area. The solution to this technological problem is to create a configurable gripper for the manipulator, containing fixed and movable rails, the mobility of the latter being provided by motors. In turn, the movable rails have gripping elements, which can be of various types (suction cups, needles, pin clamps). The number of gripping elements installed is 4 – one on each side of the movable rail. The purpose of the study is to eliminate the unjustified diversity of possible options for gripping elements applicable to flat and flexible parts, and to establish certain patterns and recommendations for their selection. The studies were conducted empirically using the following methods: observation, comparison, measurement and experiment. Based on the results of the conducted research, the following was established: for extracting cut parts from a cutting mat of genuine leather, it is recommended to use suction cups manufactured by SCHMALZ (Germany) SFF 20 rubber, SFF20 polyurethane, SPF 17.

The results of the research can be recommended for enterprises in the shoe and textile industries where robotic lines and vacuum tools are used.

*Keywords: robotic arm, configurable gripper, suction, vacuum, extraction.*

## ВВЕДЕНИЕ

Стремительное развитие техники и технологии в обувном производстве требуют от предприятий решения производственно-технических задач, предусматривающих внедрение в производство нового технологического оборудования, использующего самые передовые решения научно-технического прогресса в области искусственного интеллекта, машинного зрения, программирования, современного проектирования автоматизированных систем и роботизации, способных в автономном режиме без участия человека реализовывать практически все технологические операции [1].

Расширение роботизации во многих сферах производства предусматривает применение роботоманипуляторов, при этом наиболее роботизированными являются операции, заменяющие человеческий труд на примитивных и простых действиях, таких как взять, перенести, положить, выполняемые захватными устройствами.

Патентно-информационный поиск показал разнообразие захватных устройств, применяемых для деталей свободной формы.

В описании к изобретению [2] раскрыто захватное устройство, содержащее неподвижный корпус с радиальными пазами, электропривод, закрепленный посредством кронштейна на неподвижном корпусе устройства, зафиксированный на валу электропривода пазовый спиральный кулачок с рабочей поверхностью в форме спирального диска, ползуны, кинематически связанные с пазовым спиральным кулачком и перемещающиеся по радиальным пазам, рабочие элементы, в качестве рабочих элементов захватного устройства используются четырехзвенные коромысло-ползунные шарнирные рычажные механизмы, находящиеся в кинематической связи с пазовым спиральным кулачком, при этом ползуны выполняют как функцию толкателей в кулачковых парах с пазовым спиральным кулачком, так и функцию ползунков в четырехзвенных коромысло-ползунных шарнирных рычажных механизмах, приводящих в движение шатунные звенья каждого из присоединенных рычажных механизмов, а один из рабочих элементов сделан с большей поверхностью контакта по сравнению с остальными рабочими элементами, которые, в свою очередь, развернуты под углом по отношению к перпендикуляру к траекториям движения ползунков. Полезный результат представленного технического решения заключается в увеличении рабочего диапазона, в обеспечении захвата предметов различ-

ных типов, формы и габаритов, и удержания их в требуемом пространственном положении, а также в уменьшении массы и габаритов устройства.

В описании к изобретению [3] представлен вакуумный захватный агрегатный модуль, содержащий захватную головку в виде безнасосной присоски, закрепленной на штоке привода ее осевого перемещения, отличающийся тем, что привод осевого перемещения выполнен в виде торообразной герметичной гибкой нерастяжимой камеры с избыточным давлением воздуха, охватывающей шток, соединенный тягой с электромеханическим приводным механизмом перемещения захватной головки. Полезный результат вакуумного агрегатного модуля заключается в применении безнасосной вакуумной захватной головки и камерного привода ее перемещения.

В европейской патентной заявке [4] описано гибкое захватное устройство для системы пакетирования деталей, содержащее крепежный фитинг манипулятора, один основной направляющий рельс, соединенный с фитингом крепления манипулятора, по меньшей мере один подвижный направляющий рельс, установленный на основном направляющем рельсе и выполненный с возможностью перемещения вдоль него, по меньшей мере два захватных элемента, установленных на подвижном направляющем рельсе и выполненных с возможностью перемещения вдоль него.

Однако уникальность материалов, формы переносимых деталей не позволяют применить существующие технические решения, а предусматривают использование устройства захвата манипулятора, конструкция которого обеспечит конфигурирование последнего под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме.

Исследованию конфигурирования роботов манипуляторов и их захватных устройств под уникальные объекты посвящены многие научные работы. Так работа [5] направлена на исследование процесса управления манипулятором, оснащенным захватным устройством, при выполнении в автоматическом режиме операции захвата не кооперируемого объекта. Решение задачи включает этапы планирования и выполнения. При планировании происходит определение координат точек контакта на поверхности объекта, а также координат манипулятора и пальцев кисти захватного устройства в момент захвата. При выполнении операции происходит перемещение манипулятора и кисти из исходного положения

в запланированное положение. В результате исследования показано, что при планировании захвата в системе рука-кость-объект можно обеспечить желаемые свойства даже в случае, когда эти свойства не обеспечиваются в системе кисть-объект. Формально это достигается надлежащим выбором компонент матрицы Якоби манипулятора, на практике – выбором соответствующей конфигурации его кинематической цепи. В работе [6] рассмотрен пальцевый схват, применяемый в швейной промышленности для выполнения погрузочно-разгрузочных работ с достаточной точностью ориентирования, что достигается соответствующим программным обеспечением. В работе [7] рассмотрен захват для нежных и хрупких деталей, представлена идея реконфигурируемого захватного устройства, обладающего способностью захватывать и манипулировать хрупкими и нежесткими предметами, а также предметами, имеющими неправильную геометрическую форму. Указанная способность обеспечивается благодаря конструкции пальцев захватного устройства, а также возможности изменения расстояния между ними.

В качестве схватных устройств захватов манипулятора в зависимости от вида переносимых предметов и деталей используются пальцы, присоски как вакуумные, так и безвакуумные, магниты, иголки.

Следует отметить, что большинство исследований направлено на изучение работы устройств типа «кисть», предназначенных для объектов имеющих объемную форму (цилиндр, шар, куб), в свою очередь плоские детали и особенно плоские гибкие детали, к которым можно отнести детали кроя обуви не могут быть перемещены при помощи таких устройств, таким образом возникает необходимость адаптации существующих технических устройств под свойства переносимых деталей.

**Задачей** исследования является разработка и оптимизация конфигурируемого захвата манипулятора, способного в автоматическом режиме конфигурироваться под уникальные детали кроя верха деталей обуви.

**Целью** исследования является исключение неоправданного многообразия возможных вариантов схватных элементов для плоских, но гибких деталей и установление определенных закономерностей и рекомендаций в их выборе.

**Методом исследования**, принятом в данной работе, является эмпирический, включая наблюдение, сравнение, измерение и эксперимент.

Средства исследования: присоски (набор присосок TEST-SETVTVERPACKUNGSMALZ), ручной динамометр Мегеон 03500, комплект материалов из натуральной кожи (крафт, велюр, лак), вакуумный генератор с насосом Ribake 2BHB 830 H26, стол.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Поставленная задача решена тем, что в условиях резидента Парка высоких технологий ООО «Лацит – Лаборатория цифровых технологий» разработано устройство захвата манипулятора, содержащее узел крепления к руке манипулятора, одну основную направляющую, соединенную с узлом крепления к руке манипулятора, одну подвижную направляющую, установленную на основной направляющей с возможностью перемещения вдоль нее, два элемента захвата, установленные на подвижной направляющей с возможностью перемещения вдоль нее, при этом устройство содержит контроллер, а также один привод подвижной направляющей и один привод элементов захвата, связанные с контроллером с возможностью получения информации о координатах, определяющих форму захватываемых объектов, и с подвижной направляющей и элементами захвата с возможностью их перемещения согласно полученным координатам.

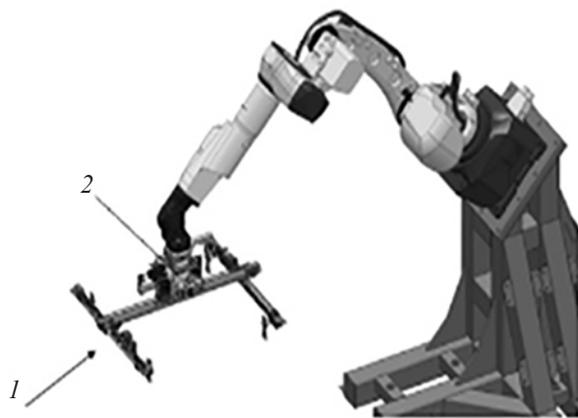
Информация о координатах, определяющих форму захватываемых объектов, то есть в какую сторону должны вращаться двигатели и куда следует перемещать подвижную направляющую и элементы захвата (для захвата объектов ранее определенной формы) поступает от внешнего источника управления на контроллер, а затем на приводы. Таким образом, перемещение подвижной направляющей осуществляется приводом подвижной направляющей, а перемещение элементов захвата – приводом элементов захвата. Перемещение осуществляется согласно полученным координатам, определяющим форму захватываемых объектов, то есть конфигурирование устройства захвата под уникальную форму каждого захватываемого объекта происходит в автоматическом режиме. Очевидным является то, что привод подвижной направляющей и привод элементов захвата выполнены с возможностью перемещения подвижной направляющей и каждого из элементов захвата независимо друг от друга. Устройство захвата манипулятора является независимым от статической силы трения, роль пуска и тормоза выполняют приводы, связанные с контроллером. Вышеописанное позволяет использовать устройство захвата манипулятора для захвата объектов произвольной формы в автоматическом режиме.

Элементы захвата выбраны из группы, содержащей вакуумную присоску, присоску Бернулли, игольчатый захват и магнитный захват. Различная конфигурация элементов захвата позволяет выбирать подходящую конструкцию для обеспечения надежного и точного захвата объектов различной формы. Привод подвижной направляющей и привод элементов захвата связаны с контроллером посредством проводов. Узел крепления к руке

манипулятора оснащен креплением для держателя проводов и колодок коммутации, что позволяет соединять внешние коммутационные устройства с исполнительными элементами – приводом подвижной направляющей и приводом элементов захвата. Кроме того, узел крепления к руке манипулятора оснащен клапанами управления элементами захвата.

Оснащение узла крепления к руке манипулятора коммутационными колодками и клапанами управления элементами захвата, введение индивидуальных приводов для каждой оси (привода подвижной направляющей и привода элементов захвата) позволяет создать устройство захвата небольшого размера и с незначительной массой по сравнению с применяемыми устройствами аналогичного назначения, а также со значительно большими возможностями, включая индивидуальную конфигурацию под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме.

На рисунке 1 показан общий вид манипулятора, представляющего собой робот-манипулятор с устройством 1 захвата, которое закреплено на роботе-манипуляторе посредством узла 2 крепления к руке робота-манипулятора.



1 – конфигурируемый захват манипулятора;  
2 – узел крепления к руке робота манипулятора  
1 – manipulator gripping device;  
2 – manipulator arm attachment fitting

**Рисунок 1 – Робот-манипулятор с конфигурируемым захватом**  
**Figure 1 – Configurable gripper mounted on a robotic arm**

Устройство работает следующим образом.

Работа устройства 1 захвата манипулятора заключается в выполнении основных функций: определение координат захватываемых деталей, индивидуальная конфигурация под форму и размер захватываемых деталей уникальной формы, присоединение устройства 1 захвата к захватываемой детали, фиксация захватываемой детали к элементу захвата, извлечение

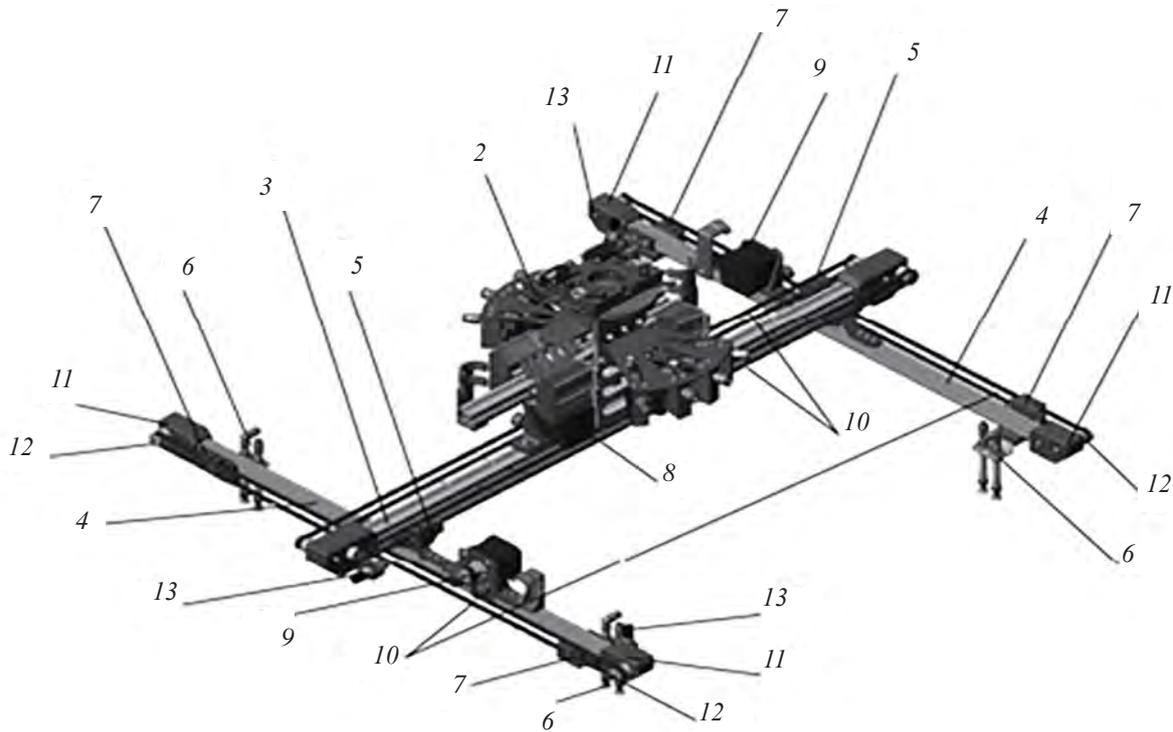
детали из листа кроя, перемещение и укладка деталей кроя на площадку комплектации.

На рисунке 2 представлен общий вид устройства 1 захвата манипулятора, содержащее узел 2 крепления к руке манипулятора, одну основную направляющую 3, соединенную с узлом 2 крепления к руке манипулятора, и две подвижные направляющие 4, каждая из которых снабжена кареткой 5, установленные на основной направляющей 3 с возможностью перемещения вдоль нее, четыре элемента 6 захвата, каждый из которых снабжен кареткой 7, установленные по два на каждой подвижной направляющей 4 с возможностью перемещения вдоль нее, контроллер (на рис. 2 не показан), а также привод 8 подвижных направляющих 4 и два привода 9 элементов 6 захвата. Каретки 5 подвижных направляющих 4 установлены на основной направляющей 3, а каретки 7 схватов – на подвижных направляющих. Каретки 5 и 7 установлены на соответствующей направляющей посредством пазов (на рис. 2 не показаны). Перемещение подвижной направляющей 4 и элементов 6 захвата, а, следовательно, кареток 5 и 7 осуществляется посредством приводов 8 и 9 через кинематическую передачу 10 (которая может представлять собой, например, ремень, цепь или винтовую передачу). Движение кинематической передачи 10 обеспечивается законцовками 11, на которых закреплены обводные ролики 12 (или, например, подшипник для винтовой передачи). Каждый привод 8 и 9, снабжен датчиками положения 13, которые фиксируются на направляющих 3 и 4 вне зависимости от их подвижности.

Таким образом, разработано устройство захвата манипулятора, независимое от статической силы трения, конструкция которого обеспечивает достижение технического результата, заключающегося в обеспечении конфигурирования устройства под каждый захватываемый объект уникальной формы в автоматическом режиме [8].

Для достижения наилучшего результата по процессу выемки крайне важным является выбор комплектующих для исполнительных захватов, которые непосредственно соприкасаются с извлекаемыми деталями. Такие исследования проводились для выбора комплектующих, способных извлекать гибкие детали верха обуви из раскроенного ковра, не обнаружено [9] [10]. Таким образом, возникает необходимость в подборе комплектующих, который выполнен на основании наблюдения, сравнения, измерения и эксперимента по определению оптимальных присосок (материал и форма) для осуществления операции извлечения.

Эмпирические исследования проводились в условиях научно-производственной лаборатории ООО «Лацит – Лаборатория цифровых технологий».



- 2 – узел крепления к руке робота-манипулятора; 3 – основная направляющая; 4 – подвижная направляющая;  
 5 – каретка подвижных направляющих; 6 – элемент захвата; 7 – каретка схватов;  
 8 – привод подвижных направляющих; 9 – привод элементов захвата; 10 – кинематическая передача; 11 – законцовки;  
 12 – обводные ролики; 13 – датчик положения
- 2 – manipulator arm attachment fitting; 3 – main guide rail; 4 – movable guide rail; 5 – carriages of movable guide rails;  
 6 – gripping elements; 7 – carriages of gripping elements; 8 – actuator of movable guide rails;  
 9 – actuator of gripping elements; 10 – power transmission; 11 – edge lines; 12 – idle pulleys; 13 – position sensors

**Рисунок 2 – Устройство захвата манипулятора**  
**Figure 2 – Manipulator gripping device**

Описание средств исследования. Присоски представляют собой вогнутую поверхность, внутренняя полость которой изолирована от внешней среды. Для исследования применялись две группы присосок от разных производителей, которые на данный момент являются доступными для приобретения.

Первая группа – присоски фирмы SCHMALZ (Германия), в которых буквенное обозначение – это модельный ряд, а численное обозначение – это диаметр: № 1 – SPF30; № 2 – SPB1 25, № 4 – SFF 20 каучук; № 5 – FGAO 18x14 (эллиптическая форма); № 7 – FG9; № 9 – SPF 17; № 10 – SPF23; № 11 – FGA14; № 12 – FGA22; № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 15 – SGO-8x24 (эллиптическая форма); № 16 – SGO-10x30 (эллиптическая форма); № 17 – FG 18; № 18 – FG23; № 19 – SFF25 полиуретан; № 20 – SFF20 полиуретан; № 21 – FGA16; № 22 – FGA20; № 23 – SFB 25; № 24 – SFB 15; № 25 – SGP15.

Вторая группа – присоски фирмы VUOTOTECNICA (Италия), обозначенные производителем числовыми символами № 3 – 012515 с

диаметром 25 мм; № 6 – 012010 с диаметром 20 мм, № 8 – 011510 с диаметром 15 мм; № 25 – 11 с диаметром 50 мм; № 26 – 011010 с диаметром 10 мм.

Разряжение в присосках в рамках данной работы создавалась вакуумным генератором, принцип работы которого состоит в подаче сжатого воздуха в коническое сопло. Сжатый воздух, проходящий через коническое сопло, достигает сверхзвуковой скорости, которая создаёт разряжение. Для определения силы прижатия присосок к образцам материала принят прибор портативный Мегеон 03500, представляющий собой высокоточный цифровой динамометр, оснащенный интерфейсом RS232C для сопряжения с компьютером. В качестве основания для деталей использовался стандартный вакуумный стол с вакуумным ковром, что обеспечивает воздухопрозрачность подложки деталей.

Описание образцов материала. Детали для исследований размером 190x190 мм были выбраны из группы материалов, применяемых для изготовления верха обуви: крафт, велюр и лаковая кожа. Крафт

представляет собой натуральную кожу, которая не имеет лицевой отделки и сохраняет характерный текстурный рисунок. Велюр – это кожа, имеющая поверхность с коротким, однотонным и гладким ворсом, так как в велюре наружная сторона кожи (мерея) используется как внутренняя, а изнаночная (бахорма) используется как лицевая. Лак – кожа, обработанная специальными смолами, придающими поверхности гладкий, блестящий эффект.

На рисунке 3 представлено изображение установки для реализации эксперимента.

Описание эксперимента: с целью получения наиболее достоверных результатов и визуального наблюдения за поведением присосок в момент отрыва исследованию подверглись все присоски, вошедшие в комплектную базу. Каждая присоска присоединялась к фиттингу, после чего вакуумный генератор, питаемый сжатым воздухом от компрессора, создавал разрежение в присоске. Присоски отсоединялись от материала с определенным усилием, которое фиксировалось при помощи динамометра, численный результат усилия выводился на экран. Эксперимент повторялся трижды для каждой присоски, после чего находилось среднее значение. Критерием оптимизации принято отношение силы отрыва  $F$ ,  $H_k$  диаметру  $D$ , мм, как относительный показате



**Рисунок 3 – Установка для реализации эксперимента**  
**Figure 3 – Experimental setup**

ль удержания раскроенной детали, который на основании опытно-статистических наблюдений принят выше 0,5 Н/мм. На рисунке 4 представлены виды присосок, которые подвергались испытаниям.



**Рисунок 4 – Виды присосок**  
**Figure 4 – Types of suction cups**

Результаты эксперимента приведены в таблице 1, относительное усилие отрыва рассчитывалось как среднее значение для всех полученных результатов эксперимента.

На рисунке 5 представлена гистограмма с отображением усилий отрыва каждого типа присосок от разного материала (крафт, велюр, лак), которая

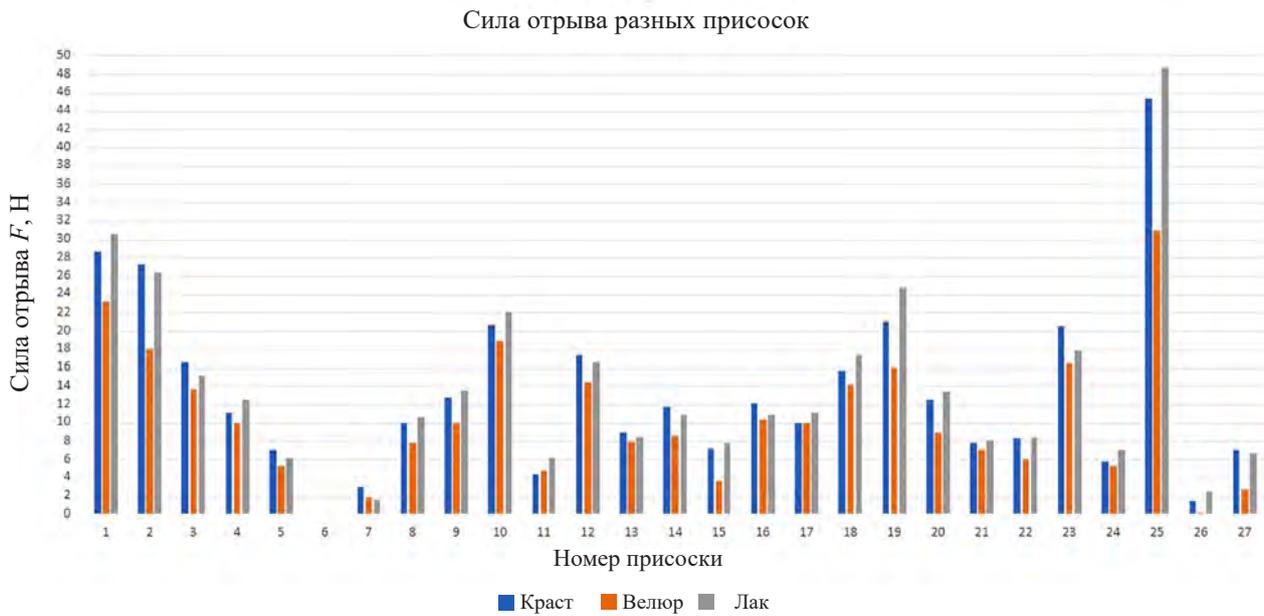
наглядно показывает общую закономерность исследуемого процесса и позволяет усреднить среди трёх видов материалов отношение силы отрыва присоски к ее диаметру.

На рисунке 6 представлен график относительного усилия отрыва для испытанных присосок.

**Таблица 1 – План и результаты эксперимента по определению силы отрыва присоски от разных материалов**

**Table 1 – Plan and results of the experiment to determine the force of separation of the suction cup from various materials**

№	Вид комплектующего элемента	Диаметр $D$ , мм	Сила отрыва $F$ , Н			Относительное усилие отрыва $Y$ , Н/мм
			Крафт	Велюр	Лак	
1	SPF30	30	28,7	23,2	30,6	0,92
2	SPB25	25	27,3	18	26,4	0,96
3	012515	25	16,6	13,6	15,2	0,61
4	SFF20 каучук	20	11,1	10	12,5	0,56
5	FGAO 18x14	18	7,1	5,2	6,2	0,34
6	012010	20	н/о	н/о	н/о	0,00
7	FG9	9	3	1,8	1,6	0,24
8	011510	15	10	7,8	10,6	0,63
9	SPF17	17	12,8	10	13,5	0,71
10	SPF23	23	20,6	18,9	22	0,89
11	FGA14	14	4,4	4,8	6,2	0,37
12	FGA22	22	17,4	14,4	16,6	0,73
13	FG18	18	9	7,9	8,4	0,47
14	FG20	20	11,8	8,6	10,9	0,52
15	SGO-8x24	24	7,2	3,6	7,8	0,26
16	SGO-10x30	30	12,1	10,4	10,9	0,37
17	FG19	19	10	10	11,1	0,58
18	FG23	23	15,7	14,2	17,4	0,69
19	SFF25 полиуретан	25	21	16	24,7	0,82
20	SFF20 полиуретан	20	12,5	9	13,4	0,58
21	FGA16	16	7,8	7,1	8,1	0,48
22	FGA20	20	8,3	6	8,4	0,38
23	SFB25	25	20,5	16,4	17,8	0,73
24	SFB15	15	5,8	5,3	7	0,40
25	11	50	45,3	31	48,6	0,83
26	011010	10	1,5	0,1	2,4	0,13
27	SGP15	15	7,1	2,7	6,7	0,37



**Рисунок 5 – Гистограмма с отображением усилий отрыва каждого типа присосок от разного материала**  
**Figure 5 – Histogram displaying the tear-off forces of each type of suction cups from various materials**



**Рисунок 6 – Относительное усилие отрыва для испытанных присосок**  
**Figure 6 – Relative pull-off force for the tested suction cups**

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

На основании сложившейся практики ширина мелких деталей для заготовок верха находится в пределах  $20 \pm 1$  мм (например, ремешок, длина в данном случае не важна, так как конфигурируемый захват, разработанный в рамках поставленной технической задачи, способен конфигурироваться в линию с размахом 600 мм). Таким образом в результате эксперимента установлен оптимальный размер присосок, соответствующий минимальной

ширине детали края верха обуви  $20 \pm 1$  мм и соответствующему критерию оптимизации (относительное усилие отрыва должно быть более 0,5 Н/мм). Следует отметить, что варианты № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 17 – FG19, которые подходят под выбранные критерии, являются сильфонными и проявляют негативную особенность в работе: при создании усилия на отрыв присоски растягиваются, при контакте – сжимаются, тем самым ведут себя непредсказуемо, после отрыва зачастую схлопы-

ваются, таким образом, перечисленные варианты № 13 – FG18; № 14 – FG20; № 17 – FG19 не могут быть рекомендованы к использованию. Критериям

выбора и положительным поведением при работе соответствуют следующие варианты: № 4 – SFF20 каучук; № 9 – SPF17; № 20 – SFF20 полиуретан.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чукасова-Ильющкина, Е. В. Концепция индустрии 4.0 в условиях промышленного предприятия / Е. В. Чукасова-Ильющкина // Инновации в текстиле, одежде, обуви (ICTAI–2023) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI–2023) : материалы докладов Международной научно-технической конференции, Витебск, 9–10 ноября 2023 г. / УО «ВГТУ». – Витебск, 2024. – С. 142–147.
2. Захватное устройство : патент RU2673118C1 Российская федерация МПК В25J 15/08 / В. И. Карамнов, Д. А. Баловнев, Г. Г. Знайко. – Заявка на изобретение № 2018122427; заявл. 20.06.2018; опубл. 22.11.2018; заявитель Публичное акционерное общество «Институт электронных управляющих машин им. И.С. Брука».
3. Вакуумный захватный агрегатный модуль : патент на полезную модель № 200757 U1 Российская Федерация, МПК В25J 15/06 / С. Н. Сысоев, Ю. В. Черкасов, А. В. Сажин, Т. С. Мишина. – Заявка № 2020116933 : заявл. 07.05.2020 : опубл. 11.11.2020; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение образования «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».
4. Flexible gripping device for a part stacking system, part stacking system and positioning method for positioning gripping elements for a part stacking system : 14382505.7 : European patent application № 3031586 Int Cl.B25J 15/00 / Alonso Ramila, Carlos Navero, Rueda Daniel; date of filing: 11.12.2014; date of publication: 15.06.2016 Bulletin 2016/24; applicant: Fagor, S. Coop. 20500 Mondragon (Gipuzkoa) (ES).
5. Бажинова, К. В. Автоматический захват объектов манипулятором, оснащенный многопалой кистью / К. В. Бажинова, А. Г. Лесков, Е. В. Селиверстова // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2019. – № 2. – С. 166–176. – DOI 10.1134/S0002338819020033.
6. Усенбеков, Ж. Моделирование схвата робота-манипулятора с гибкими тяговыми элементами / Ж. Усенбеков [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 6 (384). – С. 213–217. [https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384\\_41.pdf](https://tftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_41.pdf).
7. Щелкунов, Е. Б. Мягкое захватное устройство с возможностью реконфигурирования / Е. Б. Щелкунов, В. А. Карпенко, А. А. Орлов // Мехатроника, автоматика и робототехника. – 2023. – № 12. – С. 22–25. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-22-25>.
8. A gripping device of a manipulator : european patent application № WO 2022064260 Int Cl.B25J 15/00: 20788892/ Danilau Yauheni, Dzikunets Leanid; date of filing: 28.09.2020 ; date of publication: 31.03.2022; applicant: ICOL GROUP LTD [CY]/[CY].
9. Борисов, М. А. Разработка вакуумного захвата для сборочно-сортировочного робота / М. А. Борисов, С. Е. Лимонов // Актуальные проблемы в машиностроении. – 2024. – Т. 11. – № 1–2. – С. 74–83. [file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building\\_1-2\\_\\_1715332696-1.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building_1-2__1715332696-1.pdf).
10. Шигаев, Н. Н. Вакуумный захват для извлечения отливок из пресс-формы / Н. Н. Шигаев, Е. Е. Сопова // Modern Science. – 2020. – № 5.3. – С. 597–604. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42912047>.

### REFERENCES

1. Chukasova-Ilyushkina EV. The concept of industry 4.0 in an industrial enterprise. In: Innovatsii v tekstile, odezhde, obuvi (ICTAI–2023) = International conference on textile and apparel innovation (ICTAI–2023) : materialy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, 9-10 November 2023, Vitebsk. Vitebsk: УО «ВГТУ»; 2024:142-147. (In Russ.)
2. Karamnov VI, Balovnev DA, Znayko GG. Zakhvatnoe ustroystvo = Gripping device. Patent RU2673118C1 Russian Federation IPC B25J 15/08. Application for Invention No. 2018122427; application dated 06.20.2018; published on 11.22.2018; applicant Public Joint Stock Company I.S. Bruk Institute of Electronic Control Machines. (In Russ.)
3. Sysoev SN, Cherkasov YuV, Sazhin AV, Mishina TS. Vakuumnyy zakhvatnyy agregatnyy modul' = Vacuum gripping aggregate module. Utility model Patent No. 200757 U1 Russian Federation, IPC B25J 15/06. Application No. 2020116933. Application. 05.07.2020 : published 11.11.2020; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Education «Vladimir State University named after Alexander Grigoryevich and

Nikolai Grigoryevich Stoletov». (In Russ.)

4. Alonso Ramila, Carlos Navero, Rueda Daniel. Flexible gripping device for a part stacking system, part stacking system and positioning method for positioning gripping elements for a part stacking system : 14382505.7. European patent application № 3031586 Int Cl.B25J 15/00; date of filing: 11.12.2014; date of publication: 15.06.2016 Bulletin 2016/24; applicant: Fagor, S. Coop. 20500 Mondragon (Gipuzkoa) (ES).

5. Bazhinova KV Leskov AG, Seliverstova EV. Automatic capture of objects with a manipulator equipped with a multi-fingered brush. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Theory and control systems.* 2019;2:166-176. – DOI 10.1134/S0002338819020033. (In Russ.)

6. Usenbekov J et al. Modeling the grip of a robotic manipulator with flexible traction elements. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti.* 2019;6(384):213-217. [https://ftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384\\_41.pdf](https://ftp.ivgpu.com/wp-content/uploads/2020/07/384_41.pdf) (In Russ.)

7. Shchelkunov EB, Karpenko VA, Orlov AA. A soft gripping device with the possibility of reconfiguration. *Mekhatronika, avtomatika i robototekhnika = Mechatronics, automation and robotics.* 2023;12:22-25. <https://doi.org/10.26160/2541-8637-2023-12-22-25>. (In Russ.)

8. Danilau Yauheni, Dzikonets Leanid. A gripping device of a manipulator : European patent application No. WO 2022064260 Int Cl.B25J 15/00: 20788892/; date of filing: 09.28.2020 ; date of publication: 03.31.2022; applicant: ICOL GROUP LTD [CY]/[CY].

9. Borisov MA, Limonov SE. Development of a vacuum gripper for an assembly and sorting robot. *Aktual'nye problemy v mashinostroenii.* 2024;11(1-2):4-83. file:///C:/Users/User/Downloads/machine-building\_1-2\_1715332696-1.pdf. (In Russ.)

10. Shigaev NN, Sopova EE. Vacuum gripper for extracting castings from a mold. *Modern Science.* 2020; 5-3:597-604. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42912047>. (In Russ.)

#### Сведения об авторах

#### Information about the authors

##### Чукасова-Ильюшкина Екатерина Васильевна

Кандидат технических наук, доцент. Доцент кафедры «Экономика и электронный бизнес» учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: chukasovaev635@gmail.com*

ORCID: 0009-0009-2431-0752

##### Ekaterina V. Chukasova-Ilyushkina

Cand. Sc. (in Eng.), Associate Professor at the Department of Economics and Electronic Business, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: chukasovaev635@gmail.com*

ORCID: 0009-0009-2431-0752

##### Данилов Евгений Сергеевич

Ведущий конструктор общества с ограниченной ответственностью «Лацит-Лаборатория цифровых технологий» г. Минск, Республика Беларусь

*E-mail: e.danilov@icol.com*

ORCID: -

##### Evgeniy S. Danilov

Leading designer of Lacit-Laboratory of Digital Technologies Company, Minsk, Republic of Belarus

*E-mail: e.danilov@icol.com*

ORCID: -

Статья поступила в редакцию 28.11.2024.

## Анализ и синтез адаптивного фрикционного контакта твердых тел с косвенным регулированием

М. П. Шишкарев, М. Д. Гавриленко

Учреждение образования «Донской государственный технический университет»,  
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Аннотация.** Предложена принципиальная схема адаптивного фрикционного контакта твердых тел с косвенным регулированием, в соответствии с которым сумматор является составной частью автоматически регулируемого нажимного узла. Показано, что эффективность использования задающего воздействия определяется по характеру изменения коэффициента рассогласования. Поставлено условие саморегулирования контакта в интервале изменения возмущающего воздействия.

Цель исследования: синтез положительной обратной связи и исследование ее эффективности в синтезированном адаптивном фрикционном контакте.

Методы математического моделирования позволили создать базу знаний в виде частных математических моделей, которые локально описывают процесс автоматического регулирования в управляющем устройстве.

Результаты исследования. Установлена принципиальная возможность применения синтезированных структурно-функциональной и принципиальной схем управляющего устройства положительной обратной связи в муфтах для обеспечения их высокой точности срабатывания. Получена закономерность формирования управляющего воздействия в функции возмущающего воздействия и определены параметры управляющего устройства.

Полученные результаты могут быть использованы в практике проектирования и расчета адаптивных фрикционных муфт с положительной обратной связью.

Выводы: для обеспечения саморегулирования во всем интервале возмущающего воздействия и эффективного использования задающего воздействия требуется конструктивная реализация управляющего устройства в соответствии с найденными зависимостями между его параметрами.

*Ключевые слова:* адаптивный фрикционный контакт, коэффициент трения, косвенное регулирование, положительная обратная связь, нагрузочная способность, точность срабатывания.

## Analysis and Synthesis of Adaptive Frictional Contact of Solid Bodies with Indirect Control

Mikhail P. Shishkarev, Maksim D. Gavrilenko

Educational institution "Don State Technical University",  
Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** A schematic diagram of adaptive friction contact of solid bodies with indirect regulation is proposed, according to which the adder is an integral part of an automatically regulated pressure unit. It is shown that the efficiency of using the setting influence is determined by the nature of the change in the mismatch coefficient. A condition for self-regulation of contact within the interval of change of perturbing influence is set.

Research objective: synthesis of positive feedback and investigation of its effectiveness in synthesized adaptive frictional contact.

Methods of mathematical modeling allowed to create a knowledge base in the form of private mathematical models that locally describe the process of automatic regulation in the control device.

Results of the study. The principal possibility of applying synthesized structural-functional and schematic diagrams of the control device with positive feedback in couplings for maintaining their high accuracy of operation is determined. The regularity of the control action formation in function of the disturbing influence is obtained, and the parameters of the control device are identified.

The obtained results can be used in the practice of design and calculation of adaptive friction clutches with positive feedback.

Conclusions. To ensure self-regulation over the whole interval of the disturbing influence and the effective use of the setting influence, a constructive realization of the control device is required in accordance with the found dependences between its parameters.

*Keywords: adaptive friction contact, coefficient of friction, indirect regulation, positive feedback, load capacity, actuation accuracy.*

## ВВЕДЕНИЕ

В работе [1] исследован модифицированный вариант адаптивного фрикционного контакта (АФК) первого поколения, который теоретически позволяет сохранить постоянство сил трения между фрикционными парами при колебаниях величины коэффициента трения. Принципиальным отличием этого АФК является введение упругой связи между чувствительными элементами (ЭЧ), а также профилирование рабочих поверхностей гнезд под ЭЧ специальной кривой линией, благодаря чему управляющее воздействие изменяется по заданному закону в зависимости от текущего коэффициента трения при постоянном сдвигающем усилии.

Недостаток указанного АФК, заключающийся в низкой нагрузочной способности, объясняется тем, что задающее и управляющее воздействия имеют на выходе сумматора разные знаки. Соответственно этому назначение приведенного коэффициента трения по величине исходного коэффициента трения, большей минимального значения, приводит к исчезновению управляющего воздействия внутри интервала изменения возмущающего воздействия.

Ранее предложены структурно-функциональная и синтезированная на ее основе принципиальная схемы АФК твердых тел, в которых для полной стабилизации силы трения в условиях изменения величины коэффициента трения используется положительная обратная связь. Это позволяет значительно повысить нагрузочную способность АФК.

Однако, эффективность использования задающего воздействия в АФК не исследована и не приняты меры по ее повышению. Кроме того, не найдены условия эффективного функционирования системы автоматического регулирования АФК в интервале изменения возмущающего воздействия.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Синтез положительной обратной связи и исследование ее эффективности в синтезированном АФК твердых тел.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Проблема создания АФК, лишённого указанного недостатка, заключается в том, чтобы решить две следующие задачи:

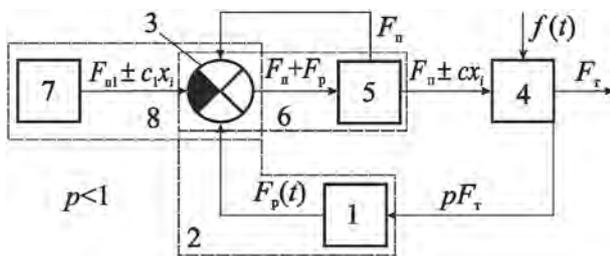
1. Построение структурно-функциональной и на ее основе принципиальной схемы АФК, в котором подаются на вход сумматора задающее и управляющее воздействия одного знака. Это позволяет производить настройку АФК по максимальному значению коэффициента трения и сохранить управляющее воздействие во всех режимах работы АФК.

2. На основе анализа созданных схем АФК установить закономерность формирования управляющего воздействия в функции возмущающего воздействия и определить параметры управляющего устройства.

Для обеспечения одинаковых знаков задающего и возмущающего воздействий, поступающих на вход сумматора, ЭЧ должны быть расположены по отношению к последнему с той же стороны, что и нажимной узел. Если использовать традиционное представление о сумматоре, которым является нажимная планка [2–4], то ЭЧ может располагаться либо между сумматором и нажимным узлом, либо последний – между сумматором и ЭЧ, причем нажимной элемент должен быть подвижен в осевом направлении относительно нажимного диска. Поскольку данный способ регулирования предполагает изменение осевой деформации упругого элемента нажимного узла, его минимальная деформация будет соответствовать работе АФК с максимальным коэффициентом трения, а также его статическому состоянию. Тогда в случае уменьшения коэффициента трения снизится сила трения АФК, поэтому из-за малого управляющего воздействия саморегулирование становится невозможным. Следовательно, изменение осевой деформации упругого элемента при саморегулировании АФК должно предполагать дополнительное воздействие на упругий элемент.

Этому условию удовлетворяет АФК, структурно-функциональная схема, которая приведена на рисунке 1. Как и в базовом варианте, сигнал  $pF_T$  с выхода АФК поступает на чувствительные элементы 1 датчика-преобразователя 2, а выходной сигнал ЭЧ – управляющее воздействие  $F_p$  на сумматор 3 датчика-преобразователя. Сумматор не является частью фрикционной группы 4 и не связан с ней непосредственно. Выходной сигнал ЭЧ поступает на вход сумматора, имея тот же знак, что и сигнал

упругого элемента 5, в результате чего на вход фрикционной группы поступает трансформированный сигнал  $F_{II} \pm cx_i$  ( $F_{II}$  – усилие упругого элемента 5 при  $f_i = f_{max}$ ,  $c$  и  $x_i$  – осевая жесткость и текущая осевая деформация упругого элемента). Дополнительное силовое воздействие на сумматор 3 нажимного узла 6 осуществляется упругим элементом 7 дополнительного нажимного узла 8 с переменным выходным сигналом  $F_{III} \pm c_1 x_i$  ( $F_{III}$  – усилие упругого элемента 7 при значении  $f_i = f_{max}$ ,  $c_1$  – осевая жесткость упругого элемента). Поскольку сумматор не представляет собой составную часть фрикционной группы, последний относится к контакту с так называемым косвенным регулированием.

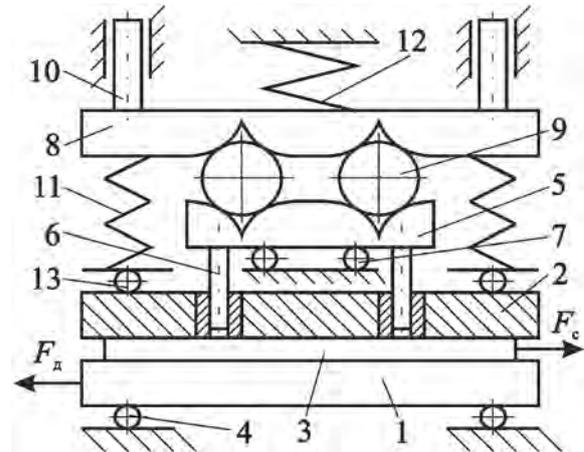


- 1 – чувствительные элементы;  
 2 – датчик-преобразователь; 3 – сумматор;  
 4 – фрикционная группа; 5 – упругий элемент;  
 6 – нажимной узел; 7 – упругий элемент  
 1 – sensitive elements; 2 – sensor-converter; 3 – adder;  
 4 – the friction group; 5 – elastic element;  
 6 – pressure assembly; 7 – elastic element

**Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема АФК**

**Figure 1 – Structural and functional diagram of the adaptive friction contact**

Эквивалентная принципиальная схема АФК изображена на рисунок 2. Тела 1–3, образующие фрикционную группу, опираются на неподвижную поверхность с помощью катков 4 и прижаты друг к другу посредством пружин 11, которые вместе с планкой 8, являющейся сумматором, представляют нажимной узел. Планка 8 несет штоки 10, размещенные в линейных направляющих, и поджата в направлении фрикционной группы пружиной 12, которая вместе с сумматором составляет дополнительный нажимной узел. Между планками 5 и 8 размещены в профилированных гнездах чувствительные элементы в виде роликов 9. Планка 5 опирается на неподвижную поверхность с помощью катков 7 и несет штоки 6, входящие в направляющие каналы тела 2. Для уменьшения трения между опорными концами пружин 11 и телом 2 установлены опоры качения 13. Планки 5, 8 и ролики 9 составляют датчик-преобразователь.



- 1–3 – тела, образующие фрикционную группу;  
 4 – каток; 5 – планка; 6 – шток; 7 – каток;  
 8 – планка; 9 – ролик; 10 – шток; 11 – пружина;  
 12 – пружина; 13 – опора качения  
 1-3 – bodies forming the friction group; 4 – roller;  
 5 – bar; 6 – rod; 7 – roller; 8 – bar; 9 – roller;  
 10 – rod; 11 – spring; 12 – spring; 13 – rolling support

**Рисунок 2 – Принципиальная схема АФК**  
**Figure 2 – Principle diagram of the adaptive friction contact**

Настройка АФК, определяемая отношением первоначальных усилий затяжки пружин 11 и 12 ( $F_{II}$  и  $F_{III}$  соответственно), может производиться различными способами. Для упрощения хода рассуждений примем такое соотношение сил  $F_{II}$  и  $F_{III}$ , при котором выполняется условие

$$F_{III} - c_1 x - (F_{II} + cx) - F_{p1} + F_{TP} = 0.$$

Здесь  $F_{p1} = (F_{II} + cx)f_{min} \operatorname{tg} \alpha_o$  – управляющее воздействие при минимальном уровне возмущающего воздействия  $f_{min}$ ,  $\alpha_o$  – начальный угол давления ЭЧ,  $F_{TP}$  – сила трения на штоках 10,  $x$  – максимальный вертикальный ход планки 8 при саморегулировании.

Таким образом, при минимальном значении коэффициента трения между телами 1–3 и  $F_D > F_C$  ( $F_D$  – движущая сила, приложенная к телу 1,  $F_C$  – сила сопротивления, приложенная к телу 3) устройство находится в состоянии относительно равновесия, тангенциальное смещение планки 5 отсутствует, и ролики 9 максимально погружены в гнезда.

Если произойдет увеличение коэффициента трения, состояние относительного равновесия элементов АФК будет сохраняться до тех пор, пока  $F_C = \operatorname{const}$ . При возрастании  $F_C$  в условиях сохранения соотношения  $F_D > F_C$  увеличится тангенциальная сила на роликах 9 и, как следствие,

управляющее воздействие  $F_p$ . Равновесие планки  $\delta$  нарушится, и она сместится вверх, в результате чего уменьшится сжатие пружины  $II$  и прижатие тел  $1-3$  друг к другу. В этом для рассматриваемой схемы АФК заключается принцип саморегулирования силы трения.

Для установления закономерности изменения  $F_p$  в процессе саморегулирования воспользуемся следующими рассуждениями. Управляющее воздействие изменяется при саморегулировании от нуля (при значении  $f_i = f_{max}$ ) до величины  $F_{p,max}$  (при значении  $f_i = f_{min}$ ), то есть в обратном направлении по отношению к основной модели АФК первого поколения [5], поэтому запишем

$$\sum F_{Ti} = 2 (F_{II} + F_{Pi}) f_i, \quad (1)$$

где  $\sum F_{Ti}$  – суммарная текущая сила трения АФК;  $F_{Pi}$  – текущее управляющее воздействие;  $f_i$  – текущее возмущающее воздействие.

Поскольку рассматривается задача обеспечения постоянства выходного параметра  $\sum F_{Ti}$  при изменении возмущающего воздействия  $f_i$ , представим настроечный выходной параметр как

$$\sum F'_T = 2F_{II} f_H, \quad (2)$$

где  $f_H$  – настроечное значение возмущающего воздействия.

На данном этапе исследования величина  $f_H$  является неопределенной, однако, безусловно, она должна принадлежать интервалу значений  $f_{min} \dots f_{max}$ .

Приравняв правые части (1) и (2) и решив полученное уравнение, найдем:

$$F_{p,i} = F_{II} \left( \frac{f_i}{f_H} - 1 \right). \quad (3)$$

Для того чтобы рассматриваемый фрикционный контакт сохранял адаптивные качества в указанном интервале изменения возмущающего воздействия, управляющее воздействие  $F_{Pi}$  должно существовать внутри этого интервала и принимать нулевое значение, по крайней мере, на одной из его границ. Нетрудно убедиться, что данным условиям в найденном соотношении полностью удовлетворяет единственное значение  $f_H = f_{max}$ .

Следовательно, исследуемый АФК должен создавать постоянный выходной параметр, равный максимальной величине выходного параметра неадаптивного (то есть имеющего линейную зависимость выходного параметра от возмущающего воздействия) фрикционного контакта, имеющего те же конструктивные основные параметры.

График функции (3) является гиперболой, не

имеющей асимптоты и пересекающей ось абсцисс в точке  $f = f_{max}$ .

Поскольку функция (3) не соответствует закономерности изменения управляющего воздействия основной модели АФК первого поколения [6], форма образующей рабочей поверхности гнезда под ролики рассматриваемой схемы контакта должна быть другой.

Для отыскания необходимой формы образующей запишем уравнение равновесия сил, действующих на планку  $\delta$  нормально к плоскости контакта тел  $1-3$ , для ее произвольного положения

$$F_{II} + cx - 2cx_i + F_{Pi} = F_{III} - c_1x + 2c_1x_i + F_{TP}. \quad (4)$$

При составлении уравнения учтено удвоенное вертикальное перемещение планки  $\delta$  относительно произвольной фиксированной точки профиля рабочей поверхности гнезда планки 5.

Уравнение (4) отражает процесс саморегулирования АФК при увеличении  $f_i$ . В случае уменьшения  $f_i$  знаки перед третьими слагаемыми в обеих частях соотношения (4) и перед последними слагаемыми правой части должны быть заменены на противоположные (рис. 1).

Максимальный ход планки  $\delta$  может быть найден из следующего уравнения ее равновесия в крайнем нижнем положении:

$$F_{III} - F_{II} - x(c + c_1) = 0,$$

откуда определим:

$$x = \frac{F_{III} - F_{II}}{c + c_1}.$$

Здесь принято  $F_p = |F_{Tp}|$ , то есть  $tg\alpha_o = f$ . Подставив полученное значение в уравнение

$$(F_{II} + cx) f_{min} = F_{II} f_{max},$$

найдем:

$$F_{III} = F_{II} \frac{c f_{max} + c_1 (f_{max} - f_{min})}{c f_{min}}.$$

Тогда

$$x = F_{II} \frac{f_{max} - f_{min}}{c f_{min}}. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что

$$F_{Pi} = F_{II} f_{max} tg\alpha_i,$$

$$F_{TP} = F_{II} f_{max} f_i,$$

найдем из уравнения (4):

$$\operatorname{tg} \alpha_i = f_1 + \frac{2x_i}{F_{II} f_{max}} (c + c_1). \quad (6)$$

Поскольку при выводе уравнения (6) в качестве исходного принято положение тел АФК, определяемое значением коэффициента трения  $f_{min}$ , величина  $x_i = 0$  соответствует максимальному погружению роликов 9 в гнезда.

Левая часть (6) представляет собой тангенс угла наклона касательной к образующей рабочей поверхности гнезда, поэтому уравнение образующей найдем интегрированием (6):

$$y = x f_1 + \frac{c + c_1}{F_{II} f_{max}} x^2 + C.$$

Постоянная интегрирования  $C$  может быть найдена из начальных условий:  $y = y_o$  при  $x = 0$ . Тогда  $C = y_o$  ( $y_o$  – начальная ордината кривой, очерчивающей профиль гнезда). Она находится аналогично изложенному в работе [1]:

$$y_o = \frac{D}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_o}},$$

где  $D$  – диаметр ролика.

Коэффициент рассогласования [1] для рассматриваемого АФК равен:

$$m = \frac{2f - f_{max}}{f_{max} - f}. \quad (7)$$

Функция (7) является возрастающей, что свидетельствует о нарастании рассогласования между силами  $\sum F_{Ti}$  и  $F_p$  по мере увеличения  $f$  и о более эффективном использовании задающего воздействия  $F_{II}$  для получения необходимого уровня выходного параметра  $\sum F_{Ti}$ . Следовательно, переменная величина коэффициента  $m$  характеризует эффективность работы датчика-преобразователя АФК, а соотношение знаков изменения коэффициента рассогласования и коэффициента трения – эффективность использования задающего воздействия.

Базовая модель АФК первого поколения и муфта-аналог [5] имеют ограничение величины параметра управляющего устройства, зависящего от  $f_{max}$ . Несоблюдение этого условия снижает надежность их работы, что обусловлено выключением управляющего устройства при увеличении коэффициента трения до некоторого значения. Рассматриваемый вариант АФК имеет другую форму связи датчика-преобразователя и нажимного узла, поэтому подход к установлению величины внутреннего параметра контакта, который позволяет сохранить его надежную работу в интервале изменения возмущающего воздействия, будет иным.

Если в процессе работы АФК произойдет увеличение коэффициента трения до такой величины,

когда сила трения пары  $l-3$  станет равной настроенному выходному параметру контакта (суммарной силе трения), управляющее воздействие (распорная сила на роликах 9) обратится в нуль. Если перед увеличением коэффициента трения он был больше минимального значения, планка 8 будет занимать промежуточное положение, и суммарная сила натяжения пружин  $II$  равна  $F_{II} + cx_i$ . Обращение управляющего воздействия в нуль может привести или не привести (это зависит от соотношения величин  $F_{II}$ ,  $F_{III}$ ,  $c$  и  $c_1$ ) к изменению положения планки 8.

Можно записать

$$(F_{II} + cx_i) f_m = 2F_{II} f_{max}.$$

Здесь  $f_m$  – искомая предельная величина коэффициента трения, при которой исследуемый АФК еще сохраняет адаптивные свойства, то есть способен к автоматическому регулированию [7].

Найдем:

$$f_m = \frac{2F_{II} + f_{max}}{F_{II} + c f_{max}}.$$

Очевидно, что величина  $f_m$  зависит только от перемещения  $x_i$  и принимает минимальное значение при условии  $x_i = x$ . Очевидно также, что, по меньшей мере, в одном случае – при исходной величине  $f = f_{min}$  – необходимо учитывать указанное значение  $x$ . Тогда с учетом соотношения (5) получим

$$f_m = \frac{2F_{II} f_{max}}{F_{II} + cx} = \frac{2f_{max} f_{min}}{f_{max}} = 2f_{min}.$$

Как видим, интервал изменения возмущающего воздействия, в котором АФК, имеющий две пары трения фрикционной группы, сохраняет адаптивные свойства, мал: его верхняя граница не покрывает даже среднее значение  $f$  [8, 9]. Расширение интервала можно произвести следующим образом: увеличить число фрикционных пар, оставив одну пару ведущей. В этом случае имеем

$$f_m = \frac{z F_{II} f_{max}}{F_{II} + cx} = z f_{min},$$

где  $z$  – число фрикционных пар контакта.

Очевидно, что верхняя граница интервала изменения возмущающего воздействия должна соответствовать значению  $f_{max}$ , тогда:

$$z = \frac{f_{max}}{f_{min}}.$$

Учитывая полученный результат, можно записать

$$y = x f_1 + \frac{c + c_1}{(z-1) F_{II} f_{max}} x^2 + \frac{D}{2\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_o}}.$$

Установленных выше параметров недостаточно для полного синтеза АФК. Действительно, для обеспечения нормальной работы контакта необходимо найти ограничение величины  $(tg\alpha)_{max}$ . Отыскание последней представляется особенно важным, так как эта величина должна обеспечивать под действием всех силовых факторов установку элементов АФК в положение, при котором выполняется (10) для любого текущего значения  $f_i$ . Кроме того, необходимо определить соотношение некоторых геометрических параметров датчика-преобразователя и величины осевых жесткостей пружин 11 и 12.

Учитывая, что для сохранения адаптивных качеств АФК в интервале значений  $f_{min} \dots f_{max}$  фрикционная группа должна иметь  $z$  пар трения, запишем окончательно

$$\begin{aligned} F_{n1} &= F_{II} \left[ z + \frac{c_1}{c} (z-1) \right], \\ x &= F_{II} \frac{z-1}{c}. \end{aligned} \quad (8)$$

Если условием работоспособности датчика-преобразователя, то есть способностью к саморегулированию, в области малых значений возмущающего воздействия является определенное усилие  $F_{n1}$  в соответствии с соотношением (8), то при максимальной величине возмущающего воздействия критерием работоспособности служит величина  $(tg\alpha)_{max}$ . Действительно, при уменьшении возмущающего воздействия от величины  $f_{min} \dots f_{max}$  должно произойти увеличение силы сжатия пружины 11 за счет изменения соотношения силовых факторов, действующих на планку 8. Так как перемещению последней вниз противодействует, кроме усилия пружины 11 и силы трения между штоками 10 и направляющими, управляющее воздействие  $F_p$ , возникающее в результате действия силы трения, условием перемещения вниз планки 8 является необходимость тангенциального перемещения планки 5.

При уменьшении возмущающего воздействия от максимального значения в процессе передачи контактом нагрузки произойдет соответствующее уменьшение силы трения между телами фрикционной группы [10], что приведет к падению величины управляющего воздействия  $F_p$ , действующего на планку 8. Уменьшение силы трения, в свою очередь, приведет к проскальзыванию фрикционных пар и к смене трения покоя трением скольжения. Особенностью этой ситуации является то, что АФК сразу реагирует на уменьшение возмущающего воздействия, тогда как в противном случае последствия увеличения последнего проявляются только при возрастании нагрузки  $F_c$ . Поэтому, приняв в качестве уменьшения величину, равную

$f_{max} (1-n)$  ( $n = f_{c,max} / f_{max}$ ,  $f_{c,max}$  – максимальный коэффициент трения скольжения,  $f_{max}$  – максимальный коэффициент трения покоя), запишем условие перемещения вниз планки 8

$$(F_{n1} - F_{II} - F'_{TP}) ctg\alpha_{max} = (z-1)F_{II} n f_{max}. \quad (9)$$

Учитывая, что

$$F'_{TP} = (z-1)F_{II} n f_{max} f_1,$$

найдем с учетом соотношения (8)

$$(tg\alpha)_{max} = \frac{c + c_1}{c n f_{max}} - f_1. \quad (10)$$

Для того чтобы оценить надежность процесса саморегулирования АФК, установим тенденцию изменения соотношения величин, составляющих левую и правую части исходного равенства (9). Для этого необходимо найти закономерность изменения угла давления по длине опорной поверхности гнезда при движении в направлении его дна.

Решая уравнение равновесия сил, действующих на планку 8 для любого промежуточного положения и учитывая при этом (8), найдем:

$$tg\alpha_i = \frac{c + c_1}{c f_{max i}} + f_1 - \frac{2x_i (c + c_1)}{(z-1)F_{II} f_{max}}.$$

Полученная функция линейная относительно  $x_i$ . Для промежуточного положения планки 8 равенство (9) можно записать в виде

$$\begin{aligned} (F'_{n2} - F_{II} - 2x_i (c + c_1) - F_{Pi} - F_{TPi}) ctg\alpha_i &= \\ &= (z-1)(F_{II} + 2cx_i) n f_i. \end{aligned} \quad (11)$$

Так как по условию рассматриваемый АФК обеспечивает постоянство выходного параметра в интервале изменения возмущающего воздействия, можно записать

$$F_{Pi} = (z-1)F_{II} f_{max} n tg\alpha_i,$$

$$F_{TPi} = (z-1)F_{II} n f_{max} f_1.$$

С учетом этого запишем уравнение (11) в виде

$$\begin{aligned} \frac{F'_{n1} - F_{II} - 2x_i (c + c_1) - (z-1)F_{II} n f_{max} f_1}{c + c_1} - \frac{2x_i (c + c_1)}{(z-1)F_{II} f_{max}} - f_1 \\ - 2(z-1)F_{II} n f_{max} = 0. \end{aligned}$$

Коэффициент  $n$ , введенный в полученное уравнение, означает, что рассматривается мгновенное фиксированное равновесное положение тел АФК в процессе скольжения фрикционных пар.

Для установления тенденции поведения АФК при уменьшении возмущающего воздействия необходимо определить характер функции, представленной в уравнении первым комплексным членом. Данная функция непрерывна на отрезке  $0...x$ , а ее первая производная также непрерывна и положительна при значениях, определяемых в соответствии с условием

$$F'_{II} > F_{II} \left\{ (z-1) \left[ \frac{c+c_1}{c} + f_{\max} f_1 (1+n) \right] + 1 \right\}. \quad (12)$$

Сопоставление величин  $F_{III}$  и  $F'_{III}$  по выражениям (8) и (12), показывает что  $F'_{III} > F_{III}$ . Следовательно, найденная сила  $F_{III}$  обеспечивает саморегулирование АФК в интервале изменения возмущающего воздействия.

Максимальное вертикальное перемещение планки 8 зависит, очевидно, от необходимой величины изменения суммарного усилия сжатия пружин 11, измеренного при крайних положениях планки. Это изменение определяется суммарной осевой жесткостью пружин 11. Поскольку на данном этапе синтеза имеется лишь соотношение между величинами  $x$  и  $c$ , найденное ранее, величина  $x$  определяется также и некоторыми геометрическими параметрами датчика-преобразователя, вначале целесообразно установить величину  $x$ .

Для этого воспользуемся расчетной схемой, приведенной на рисунке 3. На схеме показано положение ролика 9 в гнезде, соответствующее нижнему положению планки 8. Используя геометрические обозначения, можно записать

$$0,5 D \sin \alpha_0 = 0,5x + 0,5a + l$$

где  $D$  – диаметр ролика,  $a$  – величина минимального зазора между планками 5 и 8:  $a = 1...2$  мм;  $l$  – расстояние между поверхностью планки 5 и параллельной ей плоскостью, проходящей через точку контакта гнезда ролика при его максимальном выходе из гнезда ( $l = 2...3$  мм).

Найдем:

$$x = D \frac{1}{\sqrt{1+f_1^2}} - a - 2l.$$

Диаметр ролика выбирается по рекомендациям, приведенным в работе [9], в зависимости от величины действующей тангенциальной нагрузки в зоне контакта ролика и гнезда, вычисляемой по соотношению

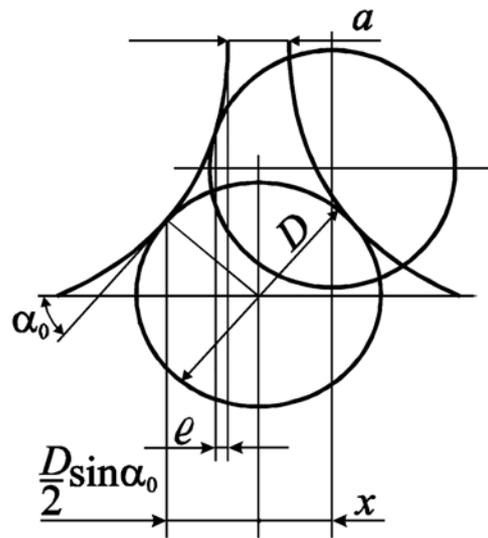


Рисунок 3 – Расчетная схема  
Figure 3 – Calculation scheme

$$F_t = \frac{(z-1)F_{II} f_{\max}}{K} \leq [F_t].$$

где  $K$  – количество роликов;  $[F_t]$  – допускаемое контактное давление.

По найденному значению  $x$  можно определить суммарную осевую жесткость пружин 11, используя для этого ранее найденное соотношение

$$c = F_{II} \frac{f_{\max} - f_{\min}}{x f_{\min}}.$$

На заключительном этапе необходимо найти осевую жесткость пружины 12.

Определим для этого величину максимального давления ролика 9, соответствующую крайнему верхнему положению планки 8. Очевидно, что это соответствует передаче нагрузки при  $f_{\max}$ . Ранее было найдено значение параметра  $(\text{tg} \alpha)_{\max}$ , при котором АФК обеспечивает саморегулирование путем перемещения вниз планки 8 под действием силы  $F_{III}$  пружины 12 в результате разбалансирования действующих на планку 8 сил из-за уменьшения управляющего воздействия.

Для определения упомянутого угла воспользуемся ранее найденной зависимостью, подставив в которую  $x_i = 0,5x$ , получим с учетом количества пар трения

$$(\text{tg} \alpha)'_{\max} = f_1 + \frac{x(c+c_1)}{(z-1)F_{II} f_{\max}}.$$

После подстановки значения  $x$  в предыдущее равенство получим

$$(tg\alpha)'_{max} = f_1 + \frac{c + c_1}{cf_{max}}$$

Сопоставление (10) и (12) позволяет выявить меньшее значение угла давления, которое должно быть принято при конструировании АФК. Очевидно, что в качестве критерия при определении угла давления должна быть принята возможность саморегулирования АФК при переходе от большей величины возмущающего воздействия к меньшей. Для того чтобы АФК мог проявлять адаптивные свойства в интервале значений  $f_{min} \dots f_{max}$ , необходимо безусловное выполнение условия  $(tg\alpha)'_{max} \geq (tg\alpha)'_{max}$ . На основании этого получим

$$\frac{c + c_1}{cnf_{max}} - f_1 \geq f_1 + \frac{c + c_1}{cf_{max}},$$

откуда находим

$$c_1 \geq c \left( \frac{2nf_{max}f_1}{1-n} - 1 \right). \quad (13)$$

Анализ соотношения (13) показывает, что при реальных значениях  $n \leq 0,8$ ,  $f_{max} = 0,8 \dots 1,0$  и  $f_1 = 0,1 \dots 0,15$  [9] получается  $c_1 < 0$ . Поскольку по физическому смыслу всегда  $c_1 > 0$ , полученный результат означает, что поставленное условие, безусловно, выполняется и АФК при принятом соотношении сил  $F_{II}$ ,  $F_{III}$  и профиле гнезд обеспечивает саморегулирование как при уменьшении, так и при увеличении возмущающего воздействия.

Так как параметр  $c_1$  входит в формулу для вычисления параметра  $tg\alpha$ , и, следовательно, определяет ее, выбор величины  $c_1$  не критичен. Однако для уменьшения веса пружины 12 и силы  $F_{III}$ , а также величины перепада последней в результате вертикального перемещения планки 8 целесообразно выбирать пружину с малым значением осевой жесткости  $c_1$ .

**Полученные результаты** могут быть использованы в практике проектирования и расчета адаптивных фрикционных муфт с положительной обратной связью, обладающих высокой нагрузочной способностью и точностью срабатывания.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующей структурно-функциональной схемы АФК показал, что использование принципа непосредственного регулирования с пропорциональным нажатием пар трения невозможно вследствие необходимости дополнительного силового воздействия на упругий элемент. Это обуславливает введение принципа косвенного регулирования, в соответствии с которым сумматор выведен из состава фрикционной группы и является составной частью автоматически регулируемого нажимного узла, а на выход сумматора подаются задающее и управляющее воздействия одного знака.

2. Указанная особенность позволяет производить настройку АФК по максимальной величине возмущающего воздействия и обеспечивает саморегулирование во всем интервале его изменения при более эффективном использовании задающего воздействия.

3. Принцип косвенного регулирования и соответствующая схема АФК предполагают обратную зависимость между управляющим и возмущающим воздействиями, так как управляющее воздействие, формируемое сумматором, реализуется в нажимном узле.

4. Эффективность использования задающего воздействия можно определить по характеру изменения коэффициента рассогласования: убывание его величины при возрастании возмущающего воздействия свидетельствует об эффективном использовании задающего воздействия при заданном уровне выходного параметра АФК и наоборот.

5. Для обеспечения условия саморегулирования в интервале изменения возмущающего воздействия число пар трения АФК должно быть равно отношению верхней и нижней границ этого интервала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шишкарёв, М. П. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твердых тел / М. П. Шишкарёв // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30288217>.
2. Fundamentals of positive feedback with additional control / М. D. Gavrilenko, А. R. Lebedev, S. V. Lesnyak, V. I. Kravchenko // International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» (AIME 2018) : conference proceedings, Novosibirsk, 19–21 April, 2018. Vol. 157. – Novosibirsk: Atlantis Press, 2018. – P. 169–173. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44902377>.
3. Бородин, Н. А. Основные положения выбора предохранительного устройства для лесохозяйственных машин / Н. А. Бородин, А. В. Князев, В. В. Ткачев, И. В. Четверикова // Лесотехнический журнал. –

2016. – Т. 6, № 2(22). – С. 118–123. – DOI: 10.12737/19965.

4. Бойко, Н. И. Анализ работы адаптивного фрикционного контакта твердых тел в предохранительных муфтах [Электронный ресурс] / Н. И. Бойко, Р. В. Гребенкин, Т. В. Лавренова // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 3 (28). – С. 90. – Режим доступа: <https://naukovedenie.ru/PDF/72TVN315.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024. DOI: 10.15862/72TVN315.

5. Поляков, В. С. Муфты. Конструкции и расчет. – 4-е изд., перераб. и доп. / В. С. Поляков, И. Д. Барбаш. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 336 с.

6. Бойко, Н. И. Исследование нагрузочной способности адаптивных фрикционных муфт [Электронный ресурс] / Н. И. Бойко, А. Н. Чукарин, И. Л. Вяликов, Н. А. Гиль // Интернет-журнал Науковедение. – 2015. – Т. 7. – № 4 (29). – С. 63. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN415.pdf>. – Дата доступа: 18.09.2024.

7. Shishkarev, M. P. Influence of the triggering precision of protective clutches on the strength of drive components / M. P. Shishkarev // Russian Engineering Research. – 2009. – Vol. 29, No. 7. – P. 660-663. DOI:10.3103/S1068798X09070041

8. Крагельский, И. В. Узлы трения машин / И. В. Крагельский, Н. М. Михин. – Москва : Машиностроение, 1984. – 280 с.

9. Ряховский, О. А., Иванов, С. С. Справочник по муфтам / О. А. Ряховский, С. С. Иванов. – Ленинград : Политехника, 1991. – 384 с.

10. The dynamic monitoring of friction systems / V. V. Shapovalov, N. I. Boiko, A. L. Ozyabkin [et al.] // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Vol. 11, No. 23. – P. 11421–11427. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35479074>.

#### REFERENCES

1. Shishkarev MP. Theoretical bases of stabilization of output parameter of adaptive frictional contact of solid bodies. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie*. 2001;(2-3):17-23. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30288217>. (In Russ.)

2. Gavrilenko MD, Lebedev AR, Lesnyak SV, Kravchenko VI. Fundamentals of positive feedback with additional control. In: International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering»: conference proceedings, AIME 2018, 19-21 April, 2018, Novosibirsk, Vol. 157. Novosibirsk: Atlantis Press; 2018:169-173. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44902377>.

3. Borodin NA, Knyazev AV, Tkachev VV, Chetverikova IV. Basic provisions for selecting a safety device for forestry machines. *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2016;6(2(22)):118-123. DOI:10.12737/19965. (In Russ.)

4. Boyko NI, Grebenkin RV, Lavrenova TV. Analysis of the operation of adaptive frictional contact of solids in safety clutches. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2015;7(3(28)):90. Available from: <https://naukovedenie.ru/PDF/72TVN315.pdf>. [Accessed 18 September 2024]. DOI:10.15862/72TVN315. (In Russ.)

5. Polyakov VS, Barbash ID. Couplings. Designs and calculation. 4th ed., rev. and supplement. Leningrad: Mashinostroenie; 1973:336.

6. Boyko NI, Chukarin AN, Vyalikov IL, Gil NA. Investigation of the load capacity of adaptive friction clutches. *Internet-zhurnal Naukovedenie*. 2015;7(4(29)):63. Available from: <http://naukovedenie.ru/PDF/33TVN415.pdf>. [Accessed 18 September 2024] (In Russ.)

7. Shishkarev MP. Influence of the triggering precision of protective clutches on the strength of drive components. *Russian Engineering Research*. 2009;29(7):660-663. DOI:10.3103/S1068798X09070041.

8. Kragelskii IV, Mikhin NM. Uzly treniya mashin = Friction nodes of machines. Moscow: Mashinostroenie; 1984:280.

9. Ryakhovskiy OA, Ivanov SS. Spravochnik po muftam = Couplings Handbook. Leningrad: Politekhnik; 1991:384.

10. Shapovalov VV, Boiko NI, Ozyabkin AL et al. The dynamic monitoring of friction systems. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016;11(23):11421–11427. <https://elibrary.ru/item.asp?id=35479074>.

**Сведения об авторах**

**Шишкарёв Михаил Павлович**

Доктор технических наук, профессор. Профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» учреждения образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

*E-mail:* [shishkarevm@mail.ru](mailto:shishkarevm@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6562-6870>

**Гавриленко Максим Дмитриевич**

Старший преподаватель кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» учреждения образования «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

*E-mail:* [aaakot@yandex.ru](mailto:aaakot@yandex.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0392-3452>

**Information about the authors**

**Mikhail P. Shishkarev**

Dr. Sc. in Eng., Professor, Department of Metal Cutting Machines and Tools, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

*E-mail:* [shishkarevm@mail.ru](mailto:shishkarevm@mail.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6562-6870>

**Maksim D. Gavrilenko**

Senior Lecturer, Department of Metal Cutting Machines and Tools, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

*E-mail:* [aaakot@yandex.ru](mailto:aaakot@yandex.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0392-3452>

Статья поступила в редакцию 17.12.2024.

## Формирование особенностей и визуальная концепция сервиса по доставке вегетарианских товаров

Н. А. Абрамович, И. С. Гурко, Н. Д. Нестерович

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В современном обществе, где предложение превышает спрос, потребители становятся более избирательными. Это приводит к формированию групп покупателей с принципиально различными предпочтениями. Одним из примеров таких групп являются вегетарианцы, которые отказываются от продуктов животного происхождения по этическим соображениям. В Республике Беларусь на данный момент нет сервиса или приложения, способного удовлетворить потребности этой категории покупателей. Исследование посвящено анализу и разработке мобильного сервиса для доставки вегетарианских продуктов, которое будет максимально соответствовать потребностям и предпочтениям пользователей. Особенностью проекта является самоидентичное дизайн-решение, сочетающее в себе принятые в среде разработки мобильных сервисов, методы с новаторскими подходами и альтернативными идеями. Методы исследования – комплексный анализ рынка, аудитории и конкурентов, опросы, интервью, дизайн метрики, дизайн фреймворки, разработка и внедрение эффективных методов агрегации и продажи товаров с дальнейшей проверкой их работоспособности. Результат работы – прототип мобильного приложения для доставки вегетарианских продуктов, готовый к дальнейшей разработке и выходу на рынок.

*Ключевые слова:* мобильное приложение, сервис, UX/UI дизайн, пользователь, прототипирование, интерфейс, юзабилити.

## Formation of Features and Visual Concept of Vegetarian Goods Delivery Service

Natallia A. Abramovich, Illia C. Gurko, Nikita D. Nesterovich

Educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

**Abstract.** In modern society, where supply exceeds demand, consumers are becoming more selective. This leads to the formation of groups of buyers with fundamentally different preferences. One example of such groups is vegetarians who refuse animal products for ethical reasons. At the moment, there is no service or application in Belarus that can meet the needs of this category of buyers. The study is devoted to the analysis and development of a mobile service for the delivery of vegetarian products that will best meet the needs and preferences of users. A special feature of the project is a self-consistent design solution that combines methods accepted in the mobile service development environment with innovative approaches and alternative ideas. Research methods include a comprehensive analysis of the market, audience and competitors, surveys, interviews, design metrics, design frameworks, as well as development and implementation of effective methods for aggregation and sale of goods with subsequent testing of their performance. The result of the work is a prototype of a mobile application for the delivery of vegetarian products, ready for further development and launch on the market.

*Keywords:* mobile application, service, UX/UI design, user, prototyping, interface, usability.

### ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования являются современные требования к дизайну виртуальных интерфейсов, оптимальные решения UX/UI мобильных приложений. Предмет исследования – рынок мобильных прило-

жений, дизайн прототипа мобильного приложения для вегетарианцев. Целью данной работы является исследование и разработка мобильного сервиса для доставки вегетарианских продуктов, которое будет максимально соответствовать потребностям и пред-

почтениям пользователей.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- Изучить рынок мобильных приложений для доставки продуктов.
- Проанализировать потребности и предпочтения вегетарианцев.
- Разработать концепцию и функционал мобильного приложения.
- Создать прототип приложения.
- Оценить юзабилити и провести тестирование приложения.

Как показал анализ существующих сервисов агрегаторов и обзор литературы в представленном исследовании проблема, которую предполагает решить сервис, заключается в отсутствии эффективного способа приобретения или поиска вегетарианских продуктов и товаров без необходимости соприкоснуться с другими сферами потребления, которые могут быть отталкивающими и неприятными для вегетарианцев. Сервис должен помочь вегетарианцам легко и удобно находить нужные им продукты, не сталкиваясь с продуктами животного происхождения, которые они по этическим соображениям не употребляют.

Важно отметить, что люди, придерживающиеся вегетарианских взглядов, как правило, более технически продвинуты и адаптивны к современным технологиям. Это позволяет сделать вывод, что создание мобильного приложения или онлайн-сервиса, направленного на удовлетворение потребностей этой группы потребителей, будет эффективным и самокупаемым.

Имея примеры и анализ конкурентов, их слабые и сильные стороны, необходимо создать правила и принципы, в которых будут определены требования для разрабатываемого сервиса. В первую очередь это удобный и современный визуальный дизайн, который будет выделять приложение на фоне конкурентов. Во-вторых, проработка пользовательского опыта, которая сделает работу с приложением в разы более приятной и комфортной для потребителя.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.**

Первым этапом в дизайн-исследовании является определение проблемы, которую будет решать дизайн, учитывая актуальность задачи, описанную во введении, а также статистические данные о том, что 4,5 % населения Беларуси (от 400 000 до 450 000 человек) считают себя вегетарианцами или же придерживаются вегетарианской диеты в различных ее проявлениях, можно смело говорить о наличии значительного потенциального рынка для специализированных сервисов.

Чтобы прототип приложения максимально со-

ответствовал потребностям целевой аудитории, необходимо сформулировать основную проблему, которую он призван решить. В рамках UX-дизайна этот подход помогает сфокусироваться на главном и создать продукт, действительно отвечающий запросам пользователей. В представленном случае проблема, которую решает сервис, заключается в отсутствии эффективного способа приобретения или поиска вегетарианских продуктов и товаров без необходимости соприкоснуться с другими сферами потребления, которые могут быть отталкивающими и неприятными для вегетарианцев.

Чтобы создать проект, эффективно выполняющий цели своего потребителя, важно учитывать не представления дизайнера о том, как должен выглядеть продукт, и не желания условного заказчика. Для этой цели необходимо в первую очередь ориентироваться на самого потребителя [1]. Наиболее эффективными методами в данном случае являются интервью и опрос. Все это позволило получить индивидуальные предпочтения и статистические данные о желаниях потенциальных пользователей. Эти данные позволили составить портрет пользователя, определить его потребности и выявить потенциальных конкурентов. В дальнейшем эта информация легла в основу разработки приложения [2].

Следует отметить, что дизайн играет ключевую роль в современном мире, определяя не только эстетику, но и функциональность, удобство и доступность продуктов и услуг. От дизайна упаковки товара до интерфейса мобильного приложения – каждый элемент влияет на восприятие продукта пользователем и его решение о покупке, формируя неприметное для неосведомленного потребителя, но решающее в покупке и использовании дизайн решение, от которого зависит дальнейшая удовлетворённость человека, использующего продукт.

Как любой другой сервис, разрабатываемое мобильное приложение должно иметь первостепенные и второстепенные задачи. Было проведено исследование, которое определило ценность различных функций в будущем прототипе приложения. Ценность функции определялась исходя из конкурентного анализа, наложенного на потребности потенциальных пользователей.

После определения гипотез следующим этапом в процессе разработки сервиса является создание так называемого User Flow. Этот термин означает «поток пользователя» и представляет собой наиболее обобщенное представление о том, какой путь пользователь пройдет в рамках приложения от процесса входа до выполнения целевого действия. Целевым действием разрабатываемого приложения является непосредственная покупка товаров [3].

Информационная архитектура сервиса – один из важнейших этапов, который является максимально обобщенным представлением о структуре разрабатываемого приложения. Макет UI включает обобщенную схему экранов приложения и их связь между собой, а также информационное наполнение основных рабочих элементов приложения.

Первым этапом непосредственной разработки визуальной части приложения является создание структурного прототипа и расширение его до функционального прототипа экранов. Структурный прототип – это наиболее общее представление о разрабатываемом сервисе, которое визуализируется через создание схемы экранов и их связей между собой.

Этот этап выступает важным мостом между анализом и конечным продуктом. На основе ранее сформулированных гипотез, информационной архитектуры, конкурентного анализа и анализа пользователей был создан функциональный прототип, где были описаны экраны приложения, их функциональные возможности, а также взаимосвязи между ними. В этом этапе основную роль имеет не визуальный дизайн приложения, а его функционал, на основании описания которого в дальнейшем формируется непосредственное дизайн-решение. Wireframe-прототип представляет собой финальный этап UX-проектирования приложения. Он служит скелетом будущего приложения, на который впоследствии будут наложены визуальный дизайн и контент, наполняющий сервис.

Основополагающим элементом в дизайне любого продукта, будь то приложение, сервис, товар,

услуга или даже отдельная личность, является создание брендинга. Бренд – это не просто логотип или название, он представляет собой комплексное воплощение ценностей, идентичности и обещаний, которые продукт или услуга предлагают своим потребителям. Ключевая задача брендинга – это передача информации о продукте или услуге, эмоций, связанных с его использованием, и истории, которая лежит в его основе [4].

Бренд также стремится создать у пользователей эмоциональные связи и приверженность, что в конечном итоге может привести к установлению долгосрочных отношений между брендом и клиентами. Поддержание целостности бренда, его последовательности и оригинальности важно для установления доверия и лояльности со стороны аудитории. Кроме того, брендинг может быть ключевым инструментом для дифференциации продукта или услуги на рынке, делая его уникальным и запоминающимся среди конкурентов. Построение визуальной концепции и стилистики сервиса было решено базировать на основных эмоциональных аспектах и элементах, связанных с вегетарианскими товарами и географией сервиса [5].

В первую очередь это логотип, совмещающий в себе элементы современности, экологичности и истории. С помощью элементов традиционного белорусского орнамента, линий и лучевой симметрии, а также стилистики вегетарианских продуктов в виде листьев или же формы плода авокадо, суммарное представление логотипа и его элементов показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Формообразование логотипа  
Figure 1 – Logo formation

Кроме того, логотип и фирменный стиль будут использовать специфическую цветовую гамму, предающие идеологию бренда:

- зеленый цвет – как цвет экологии, здоровья и силы;
- белый цвет – как цвет чистоты и современности;
- черный цвет – для темной темы приложения и как контрастный цвет для основных двух.

Совмещения данных элементов стилизации позволили создать эффективный и легко запоминающийся бренд, который будет использоваться в приложении, а также на форме курьеров и других объектах, что показано на рисунке 2.

Для того чтобы усилить эмоциональную привязанность пользователей к бренду, дизайн будет строиться не только на визуальных аспектах, но и на создании определенных эмоциональных

ассоциаций. Например, использование зеленого цвета может не только ассоциироваться с экологической ответственностью, но и сознательным выбором здорового образа жизни, что будет подчеркнута через контент и маркетинговые кампании [6].

После создания основных правил брендинга следующий этап представляет собой создание визуальной концепции приложения на основании современных дизайн-трендов, правил iOS, а также уникальной идентичности бренда. Одной из частей брендинга, на которую часто не обращают внимание, является создание единого текстового стиля [7].

Для полного погружения пользователя в брендовую атмосферу, визуальные элементы, такие как

логотип, цветовая гамма и шрифты, будут интегрированы не только в само приложение, но и в его интерфейс. Это означает, что каждый раз, когда пользователь взаимодействует с приложением, он будет подвергаться брендовой идентичности, что создаст сильное впечатление и укрепит узнаваемость [8]. Это важный этап, который определяет общий внешний облик приложения и его визуальное воздействие на пользователей. Для этого был разработан и реализован так называемый Style kit, который включал в себя не только правила использования цвета и шрифтов, но и подробные рекомендации по подбору фотографий и созданию малых графических форм, таких как иконки.



**Рисунок 2 – Использование логотипа в среде**  
**Figure 2 – Using the logo in the environment**

Брендинг не является статическим процессом, и важно продолжать развивать и адаптировать его в соответствии с изменяющимися потребностями и трендами. Постоянное изучение отзывов пользователей и анализ рыночной ситуации помогут сохранить актуальность и эффективность брендинговой стратегии в долгосрочной перспективе [9].

Основным принципом современного дизайна является консистентность, взаимосвязанность частей дизайна, их единообразие и постоянство. Консистентность позволяет использовать единый набор элементов и правил во всем дизайне. Дизайн-система позволяет легко вносить изменения в дизайн-проект и легко его реализовывать [10].

Программа графического редактирования Figma, в которой было осуществлено прототипирование сервиса, имеет ряд функций, одной из которых является возможность создания компонентов. Компоненты – это многоцветные элементы дизайна, которые могут быть использованы повторно в различных частях проекта. Это упрощает процесс дизайна и поддерживает консистентности внешнего вида приложения или веб-сайта. Исходя из этого, была

создана дизайн-система, включающая в себя все повторяющиеся элементы из проекта, которые в дальнейшем расширились и дополнялись большим количеством вариантов. Дизайн-система используется не только для обеспечения единства стиля, но и для повышения эффективности и скорости разработки [11].

*Первый вход.* При открытии приложения пользователь увидит стандартную анимацию загрузки, представленную зеленым экраном с движущимся логотипом сервиса, за которым следует появление названия. Затем основной экран приложения со списком доступных для покупки товаров магазинов становится видимым. Однако, если это первый запуск приложения, пользователь будет встречен обучающим материалом, известным как онбординг.

Было решено отойти от стандартного шаблона обучения, который обязывает пользователя пройти определенный путь покупки товара. Вместо этого обучение ограничивается информированием о ключевых особенностях приложения: общем описании сервиса, времени доставки, перечне товаров и предложении авторизации для улучшения опыта взаи-

модействия с сервисом в дальнейшем. Сами экраны выполнены с использованием фоновых изображений с затемнением и текстом, наложенным на них. Итоговый вариант показан на рисунке 3.

*Авторизация/вход.* После завершения этапа обучения, если пользователь следует запланированному целевому действию, он переходит к этапу авторизации, который представляет собой более мягкую альтернативу регистрации в приложении.

Страница авторизации выполнена в максималь-

но привычном для пользователей виде. Она представляет собой экран с заголовком «Авторизация» и кнопкой «Пропустить», если пользователь решает пропустить этот этап после обучения. Текстовое окно на этом экране рассказывает о пользе авторизации, чтобы привлечь пользователя и помочь ему выполнить авторизацию на эмоциональном уровне. Также на экране присутствует текстовое поле и иконки с предложением авторизоваться через почту или социальные сети. Этот кластер изображен на рисунке 4.

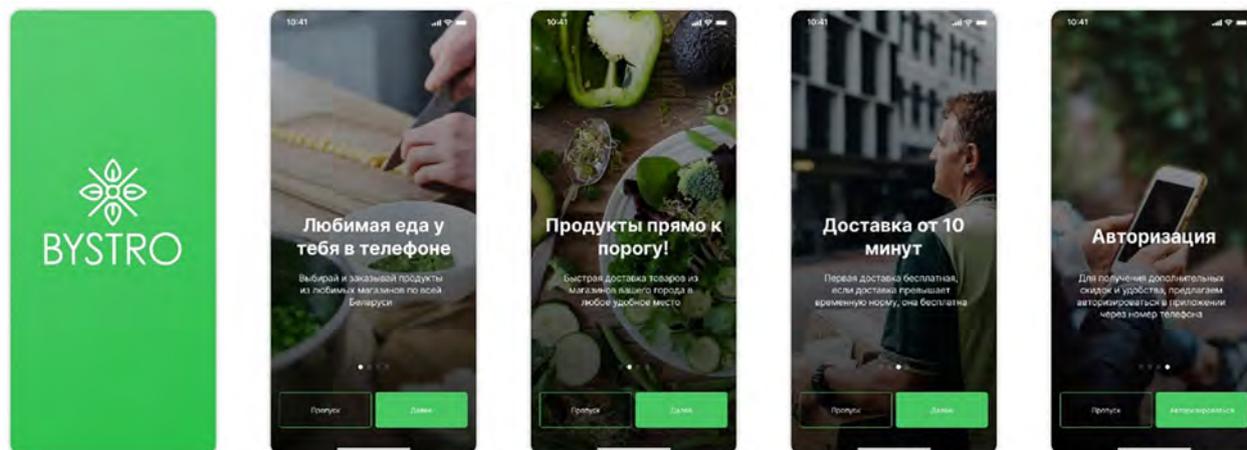


Рисунок 3 – Кластер экранов входа в приложение  
Figure 3 – Cluster of application login screens

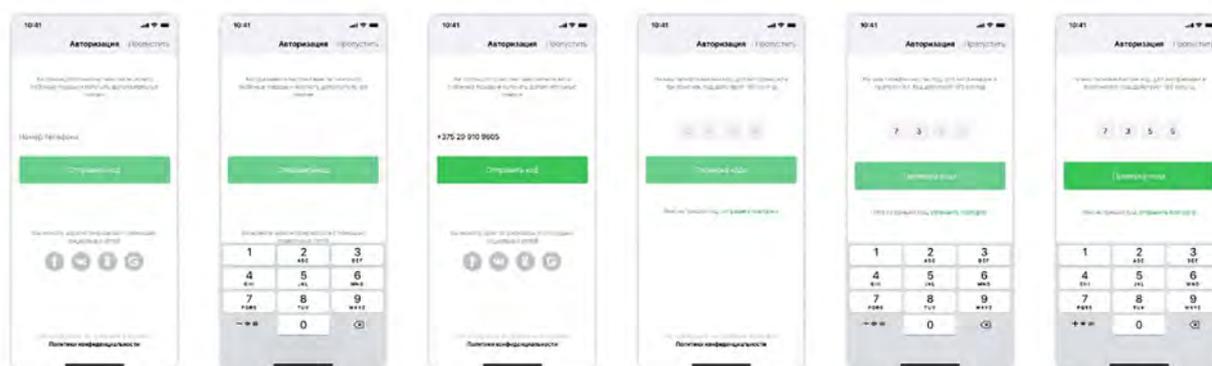


Рисунок 4 – Кластер экранов авторизации/входа  
Figure 4 – Authorization/Login Screen Cluster

*Выбор локации.* При первом входе в приложение после обучения пользователю предоставляется возможность выбрать адрес доставки. Этот этап является необходимым, поскольку основополагающей информацией, с которой работает приложение, является информация о месте доставки. Именно на ее основе строится вся программная логика сервиса.

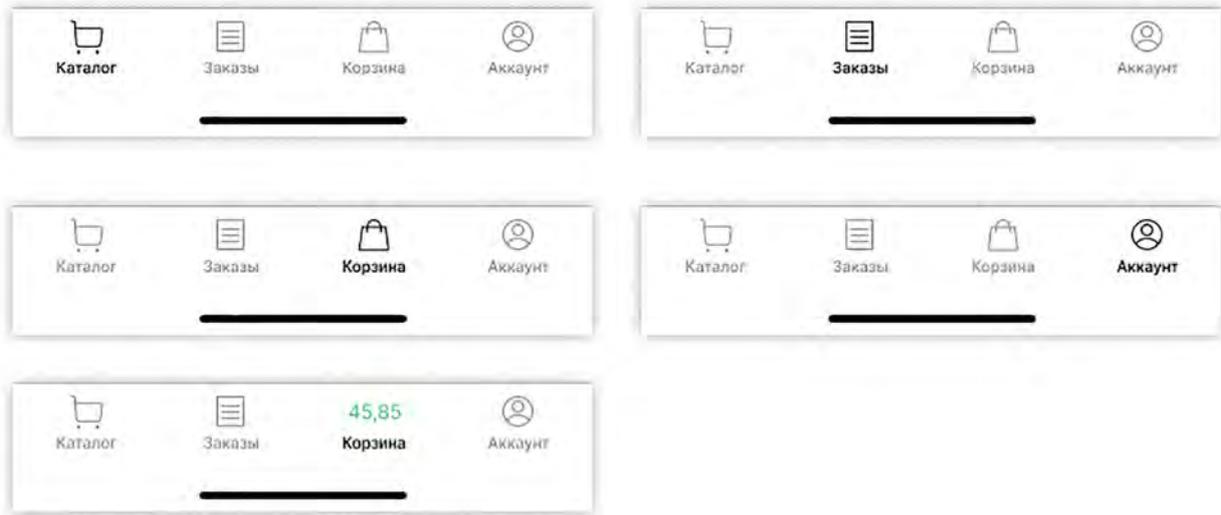
Первоначальный ввод адреса упрощен по сравнению со всеми необходимыми данными, чтобы

упростить первый вход в приложение. Пользователю не требуется вводить дополнительную информацию, такую как номер подъезда или квартиры. Они могут быть добавлены позднее, в момент непосредственного размещения заказа.

Меню выбора локации разделено на два типа. Первый тип – это всплывающее меню, расположенное внизу экрана, которое состоит из заголовка, элемента управления для свайпа, нескольких пун-

тов. Каждый пункт содержит название и непосредственный адрес, а также кнопку для редактирования адреса и кнопку выбора адреса в виде радиобаттона (radiobutton – специфический элемент управления, предполагающий выбор строго одного элемента из списка).

*Навигация по основным экранам.* Основным навигационным элементом в приложении является нижнее меню, включающее четыре пункта: каталог, заказы, корзина и аккаунт. Каждый из этих пунктов выполнен в виде иконки с небольшой подписью и перенаправляет пользователя на отдельный экран. Этот элемент можно увидеть на рисунке 5.



**Рисунок 5 – Меню навигации в приложении**  
**Figure 5 – Navigation menu in the application**

Для упрощения работы с приложением выбранный в текущий момент пункт меню навигации меняет цветовую индикацию, становясь более насыщенным. В большинстве онлайн-магазинов иконка корзины меняется через добавление круга с цифрой, отображающей общее количество добавленных товаров. Однако логика корзины в разработанном сервисе отличается: при добавлении товаров в корзину начинает отображаться не количество товаров, а суммарная цена корзины, что упрощает понимание набора товаров для пользователя.

Также были проработаны в соответствующей айдентике Страница магазинов (каталог), Страница магазина (категории), Список товаров, Страница товара, Корзина, Экран оформления заказа, Оплата в сервисе, Экран доставки, Оценка приложения, Экран заказов, Экран аккаунта, Страница избранных товаров, Экран помощи.

Завершающим и наиболее важным этапом разработки дизайна-проекта является систематизация всех экранов, устранение конфликтов в визуальном оформлении элементов, формирование понятного и доступного дизайна системы с прописыванием всех правил и контекстов использования элементов, а также полная интеграция всех существующих дизайн-элементов в готовую дизайн-систему в

соответствии с принципом атомарного дизайна.

Затем создаются отдельные варианты для альтернативного отображения приложения. Самым распространенным вариантом альтернативного отображения в мобильных приложениях является темная тема, которую пользователи могут выбирать в темное время суток или по своему личному желанию. Темная тема имеет отличный набор цветов и направление относительно стандартной светлой темы.

После завершения систематизации дизайна и создания единой библиотеки для всех элементов проекта, следующим важным этапом является проверка дизайна на реальных пользователях. Простым и эффективным способом проверки на пользователей является создание интерактивного прототипа с использованием специализированных инструментов, таких как графический редактор Figma.

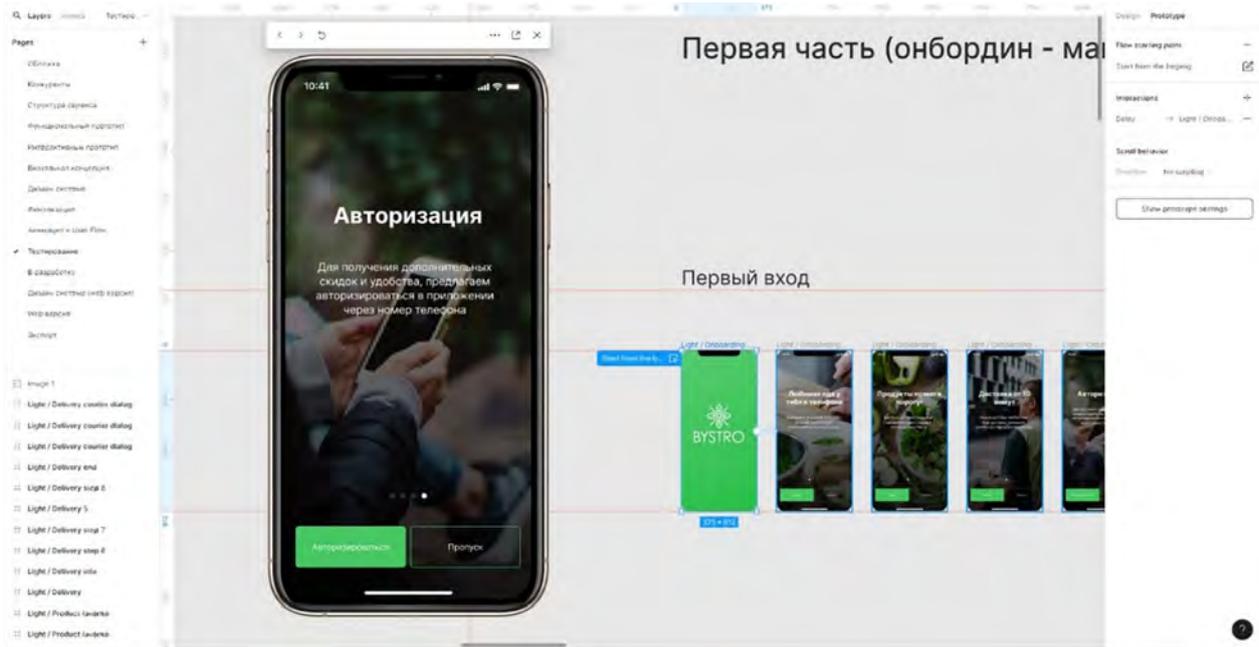
Figma предоставляет возможность создать кликабельный дизайн продукта, который подходит для проверки на представителях целевой аудитории, данный прототип представлен на рисунке 6.

Дизайнер может создать полностью интерактивный прототип, подходящий для отображения на мобильных устройствах. Предоставив целевой аудитории данный прототип, можно проверить, насколько хорошо они понимают функционал приложения,

насколько эффективно выполнен дизайн и насколько он соответствует бизнес-требованиям.

Этот этап проверки позволяет собрать обратную связь от пользователей и внести необходимые правки в дизайн перед передачей проекта в разработку и окончательным запуском. Таким образом, проверка на пользователях и последующая корректировка являются ключевым шагом для обеспечения успешного запуска проекта.

При успешном запуске приложения и подтверждении его бизнес-эффективности и соответствия требованиям рынка, оно находит свою аудиторию и закрепляется на рынке. Дизайнеру важно понимать, что разработка не останавливается на этом этапе. В условиях конкурентной среды приложение должно продолжать свое развитие, дополняясь новыми функциями и возможностями, адаптируясь под изменяющиеся реалии для поддержания актуальности и прибыльности.



**Рисунок 6 – Показ кликабельного интерактивного прототипа**  
**Figure 6 – Showing a clickable interactive prototype**

Реализация веб-интерфейса для разрабатываемого сервиса осуществлялась на основе существующей дизайн-системы для мобильной версии приложения, которая адаптируется под иные разрешения и по необходимости расширяется, чтобы включать в себя новые элементы, которые не предусмотрены в мобильном приложении.

Таким образом, в результате ряда исследований разработана концепция и определены основные функциональные возможности приложения, направленные на удовлетворение запросов пользователей. В процессе разработки эти возможности несколько раз проверялись на потенциальных пользователях, чтобы учесть все возможные недостатки и проблемы интерфейса с учетом требований к юзабилити и современному визуальному стилю.

Разработан современный брендинг для сервиса, учитывающий особенности аудитории и философии приложения. Брендинг опирался на вегета-

рианский подход к окружающему миру, сочетал в себе элементы экологичности вместе со стилистикой современности, реализованной через подбор соответствующих цветов и пластики для логотипа и интерфейса приложения. Визуальный стиль в дальнейшем был расширен, для того чтобы покрывать не только мобильный сервис, но также использоваться в веб-среде и в физическом мире на униформе курьеров и иных сопутствующих товарах (рис. 7).

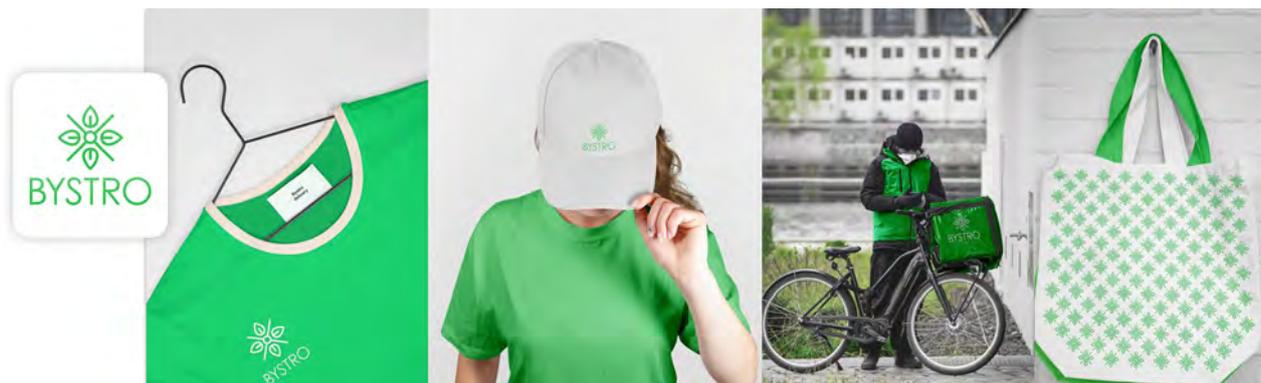
### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенной работы проведена актуализация информации о правилах и требованиях современного дизайна мобильных и веб-интерфейсов, что обеспечило необходимые данные для разработки проекта, проанализированы требования и правила к дизайну мобильных приложений на различных операционных системах, а также изучены рекомендации разработчиков в виде гайдлайнов для приложе-

ний. Был осуществлен анализ рынка и исследование прямых и непрямых конкурентов, а также приложений с аналогичным функционалом, что позволило выявить основные тенденции и потребности пользователей.

Исследование потребностей и предпочтений вегетарианцев, обобщенные персоны целевой аудитории сервиса позволили спроектировать приложение, которое учитывает все необходимые аспекты и требования для успешного функционирования на белорусском рынке. Это включает в себя ана-

лиз аудитории и ее платежеспособности, учитывая особенности бизнес-моделей, приложений, действующих в Республике Беларусь и сопоставимых с разработанным сервисом. Разработана концепция и определены основные функциональные возможности приложения, направленные на удовлетворение запросов пользователей. В процессе разработки эти возможности проверялись на потенциальных пользователях, чтобы учесть все возможные недостатки и проблемы интерфейса с учетом требований к юзабилити и современному визуальному стилю.



**Рисунок 7 – Рекламно-информационная поддержка сервиса**  
**Figure 7 – Advertising and information support of the service**

Современный брендинг приложения учитывает особенности аудитории и философии своей направленности, опираясь на вегетарианский подход к окружающему миру, сочетая в себе элементы экологичности и зеленого подхода к окружающему миру, вместе со стилистикой современности, реализован-

ной через подбор соответствующих цветов и пластики для логотипа и интерфейса приложения. Визуальный стиль расширен, для того чтобы покрывать не только мобильный сервис, но так же использоваться в веб-среде и в физическом мире для сопутствующих товаров и рекламно-информационной поддержки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шуваев, Я. UX/UI дизайн для создания идеального продукта. Полный и исчерпывающий гид / Я. Шуваев. – Москва : Бомбора, 2022. – 240 с.
2. Яблонски, Д. Законы UX-дизайна / Д. Яблонски. – Санкт-Петербург: БХБ-Петербург, 2022. – 140 с.
3. Нестерович, Н. Д. Принципы юзабилити современного дизайна веб-сайта для филиала «Витебсководоканал» УП «Витебскоблводоканал» / Н. Д. Нестерович, А. В. Попова // Юзабилити в дизайне – дизайн для человека : тезисы докладов научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 17 июня 2022 года / Науч. редакторы, сост. О. Ф. Никандрова, О. В. Петрухина. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица», 2022. – С. 16–17. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_49912013\\_88554665.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_49912013_88554665.pdf).
4. Джонсон, М. Брендинг: Шесть шагов к созданию успешного бренда / М. Джонсон. – Лондон : Thames & Hudson LTD, 2016. – 320 с.
5. Гречин, Е. Создание брендов. Развитие и применение идей Эла Райса на российском рекламном рынке / Е. Гречин. – Санкт-Петербург : Питер, 2018. – 208 с.
6. Абрамович, Н. А. Манипулятивный дизайн. Темные паттерны в UX/UI-дизайне / Н. А. Абрамович, И. С. Михайлов // Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции пре-

подавателей и студентов : в двух томах, Витебск, 19 апреля 2023 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – С. 180–182. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_54666822\\_26797768.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_54666822_26797768.pdf).

7. Меттс, М. Здесь должен быть текст. Профессиональный UX-райтинг / М. Меттс, Э. Уэлф. – Санкт-Петербург : Питер, 2023. – 224 с.

8. Уилер, А. Разработка фирменного стиля. Руководство для команды (Designing Brand Identity: An Essential Guide for the Whole Branding Team). / А. Уилер. – Хобокен : Wiley, 2017. – 336 с.

9. Малышев, К. Построение пользовательских интерфейсов / К. Малышев. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 268 с.

10. Исследование витебского авангарда и использование его идей в дизайне графическом / Г. В. Казарновская, Н. И. Тарабуко, Н. А. Абрамович [и др.]. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2024. – 136 с.

11. Samutsina N, Abramovich N et al. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics. AIP Conference Proceedings : International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), Vitebsk, 08–10 June 2021. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022;2430:020004. DOI 10.1063/5.0077193.

## REFERENCE

1. Shuvaev Ya. UX/UI dizayn dlya sozdaniya ideal'nogo produkta. Polnyy i ischerpyvayushchiy gid = UX/UI design for creating the perfect product. A complete and comprehensive guide. Moscow: Bombora; 2022:240. (In Russ.)

2. Jablonski D. Zakony UX-dizayna = Laws of UX design. St. Petersburg: BKhB-Peterburg; 2022:140. (In Russ.)

3. Nesterovich ND, Popova AV. Principles of usability of modern website design for the Vitebskvodokanal branch of the Vitebskoblvodokanal UP. In: Nikandrova OF, Petrukhina OV. (eds.) Tezisy dokladov nauchno-prakticheskoy konferentsii, June 17, 2022, Sankt-Peterburg. St. Petersburg: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni A. L. Shtiglitsa»; 2022:16–17. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_49912013\\_88554665.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_49912013_88554665.pdf) (In Russ.)

4. Johnson M. Branding: Shest' shagov k sozdaniyu uspehnogo brenda = Branding: Six Steps to Creating a Successful Brand. London: Thames & Hudson LTD; 2016:320. (In Russ.)

5. Grechin E. Sozdanie brendov. Razvitie i primeneniye idey Ela Raysa na rossiyskom reklamnom rynke = Brand Creation. Development and Application of Al Ries's Ideas in the Russian Advertising Market. St. Petersburg: Piter; 2018:208. (In Russ.)

6. Abramovich NA, Mikhailov IS. Manipulative design. Dark patterns in UX/UI design. In: Materialy` dokladov 56-j Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavatelej i studentov. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2023:180–182. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_54666822\\_26797768.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_54666822_26797768.pdf). (In Russ.)

7. Metts M, Welfle E. Zdes' dolzhen byt' tekst. Professional'nyy UX-rayting = Text should be here. Professional UX writing. St. Petersburg: Piter; 2023:224. (In Russ.)

8. Wheeler A. Razrabotka firmennogo stilya. Rukovodstvo dlya komandy = Designing Brand Identity: An Essential Guide for the Whole Branding Team. Khoboken: Wiley; 2017:336. (In Russ.)

9. Malyshev K. Postroeniye pol'zovatel'skikh interfeysov = Building user interfaces. Moscow: DMK Press; 2021:268. (In Russ.)

10. Kazarnovskaya GV et al. Issledovaniye vitebskogo avangarda i ispol'zovaniye ego idey v dizayne graficheskoy = Research of Vitebsk avant-garde and use of its ideas in graphic design. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2024:135 (In Russ.)

11. Samutsina N, Abramovich N et al. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics. AIP Conference Proceedings : International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), June 08–10, 2021, Vitebsk, Vol. 2430. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022:020004. DOI 10.1063/5.0077193.

---

**Сведения об авторах**

**Абрамович Наталья Анатольевна**

Кандидат технических наук, доцент. Заведующий кафедрой дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь  
*E-mail: vio2004@yandex.ru*  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0159-3392>

**Гурко Илья Сергеевич**

Старший преподаватель кафедры дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь  
*E-mail: illiuha@yandex.ru*

**Нестерович Никита Дмитриевич**

Студент факультета дизайна учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь  
*E-mail: designimoda@yandex.by*

---

**Information about the authors**

**Natallia A. Abramovich**

Cand. Sc. (in Eng.), Assoc. Prof. head of the Department of Design and Fashion at Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
*E-mail: vio2004@yandex.ru*  
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0159-3392>

**Illia C.Gurko**

Senior Lecturer, Department of Design and Fashion, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
*E-mail: illiuha@yandex.ru*

**Nikita D. Nesterovich**

Student of the Design Faculty, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus  
*E-mail: designimoda@yandex.by*

Статья поступила в редакцию 21.11.2024.

# Применение современных технологий искусственного интеллекта в индустрии моды

М. Д. Демидова, Е. С. Рыкова

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина»,  
г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Искусственный интеллект на современном этапе развития ставит перед производителями в области лёгкой промышленности и моды ряд вызовов – решение этих сложностей поможет предприятиям получить конкурентное преимущество и развивать отрасль своей страны, что определяет актуальность исследований в этой области. Целью исследования является анализ возможностей искусственного интеллекта в сфере модной индустрии, специфики машинного и глубокого обучения, а также концепций «слабого» и «сильного» ИИ. Задачей работы является определение возможностей применения технологии, в частности генеративных моделей, в различных областях моды и лёгкой промышленности: маркетинге, разработке стратегий, логистике, системе рекомендаций, а также в создании дизайн-проектов одежды, обуви и аксессуаров. В работе упомянуто применение свёрточных нейронных сетей в фешен-сфере, подробно изложены принципы работы генераторов изображений (генеративно-сопоставительных сетей GAN и диффузионных моделей), проанализированы этапы деятельности дизайнеров моды с точки зрения интеграции ИИ-инструментов. При ряде преимуществ ИИ может допускать значительные погрешности и в определенных условиях работать некорректно – уделено внимание рекомендациям по работе с генераторами изображений во избежание создания нежелательного контента.

*Ключевые слова:* лёгкая промышленность, мода, искусственный интеллект, генеративный искусственный интеллект, нейросети, дизайн костюма.

## Application of Modern Artificial Intelligence Technologies in the Fashion Industry

Maria D. Demidova, Elena. S. Rykova

Kosygin Russian State University, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Artificial intelligence at the current stage of development poses a number of challenges to manufacturers in the field of light industry and fashion. Thus, solving these difficulties will help enterprises gain a competitive advantage and develop the industry of their country, which determines the relevance of research in this area. The purpose of the study is to analyze the capabilities of artificial intelligence in the fashion industry, the specifics of machine and deep learning, as well as the concepts of "weak" and "strong" AI. The objective of the work is to determine the possibilities of using technology, in particular generative models, in various areas of fashion and consumer goods industry: marketing, strategy development, logistics, recommendation systems, as well as in the creation of design projects for clothing, footwear and accessories. The work mentions the use of convolutional neural networks in the fashion industry, describes in detail the principles of image generators (generative adversarial networks GAN and diffusion models), and analyzes the stages of fashion designers' activities from the point of view of integrating AI tools. Despite a number of advantages, AI can make significant errors and malfunction under certain conditions. Attention is given to recommendations for working with image generators to avoid creating unwanted content.

*Keywords:* light industry, fashion, artificial intelligence, generative artificial intelligence, neural networks, costume design.

## ВВЕДЕНИЕ

Цифровизация принесла миру ряд разработок, которые успешно интегрировались в модную индустрию: неразменные токены (NFT), цифровые идентификаторы, дополненная и виртуальная реальности (AR- и VR-технологии, воплощаемые, например, в цифровых примерках на реальных и виртуальных людях), метавселенная (metaverse – виртуальный мир, существующий параллельно с реальным и взаимодействующий с ним) [1]. Ещё недавно на волне популярности была цифровая мода: разработка аватаров и образов для них. Созданием цифровой одежды занимались такие бренды, как Burberry, Gucci, BVLGARI и др. [2]. Но сегодня самый большой ажиотаж вызывают искусственный интеллект (ИИ или AI – artificial intelligence) и развитие нейросетей. До сих пор ИИ привлекал внимание инженеров, IT-специалистов и аналитиков, но в настоящее время он стал выходить за рамки своих привычных областей применения, оставляя всё более заметный след в других областях [3].

Целью исследования является анализ возможностей искусственного интеллекта в сфере модной индустрии, специфики машинного и глубокого обучения, а также концепций «слабого» и «сильного» ИИ. Задачей работы является определение возможностей применения технологии, в частности генеративных моделей, в различных областях моды и лёгкой промышленности: маркетинге, разработке стратегий, логистике, системе рекомендаций, а также в создании дизайн-проектов одежды, обуви и аксессуаров.

Методологическим ориентиром исследования являются проблемно-логический метод и индуктивно-аналитический метод, позволившие обобщить изучаемый материал и представить его в логической последовательности, сформулировать основные теоретические выводы.

В исследовании представлены примеры российских и мировых фешен-брендов, которые экспериментально сотрудничали с генеративными моделями для создания коллекций и в других дизайн-процессах. Особое внимание уделено инновационному событию – серии конкурсных показов AI FashionWeek. Также рассмотрены научные эксперименты зарубежных коллег, применяющих в своих исследованиях GAN (StyleGAN 2), а также популярный сервис Midjourney: выявлены достоинства и недостатки подходов, а также особенности работы, которые необходимо учитывать для достижения оптимальных результатов.

ИИ представляет собой междисциплинарную область знаний, которая изучает методы создания компьютерных программ и систем, проявляющих интеллектуальное поведение. Нейросетями (нейронными сетями) в свою очередь называют математиче-

ские модели, имитирующие работу биологических нейронных систем. Несмотря на то, что вне научного дискурса эти понятия используются как синонимичные, нейросети являются подмножеством ИИ и используются для обработки данных.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Быстрое развитие ИИ в последние годы стало возможным благодаря совершенствованию когнитивных механизмов и данных [3]. Само понятие было введено в 1956 г. американским учёным Джоном Маккарти, однако ранее представления об ИИ были также предложены математиком-теоретиком Аланом Тьюрингом в 1930–1940-х гг. в его концепции «имитационной игры». В честь этого исследователя был назван тест, проверяющий способность машины демонстрировать интеллектуальное поведение.

Так сложилось понимание, что может появиться ИИ, аналогичный человеческому интеллекту по возможностям (в том числе эмоциональным) и способный с ним соперничать. Его назвали «искусственным общим интеллектом» (AGI – artificial general intelligence), также используется понятие «сильный ИИ». Сроки его появления не определены, но современные модели уже способны создавать высококачественный контент. Условно считается, что ИИ сможет конкурировать с человеком, когда он пройдёт упомянутый тест Тьюринга и будет соответствовать своему сопернику по восьми аспектам: ИИ должен иметь идентичное человеку визуальное и звуковое восприятие, мелкую моторику, способность обрабатывать естественный язык, навигацию, креативность, социальную и эмоциональную вовлеченность, а также он должен уметь решать различные проблемы. Сегодня этот подход пересматривается: если ранее утверждалось, что абсолютная человекоподобность и есть проявление сильного ИИ, то сегодня ставится под вопрос интеллектуальность каждого человеческого действия. В свою очередь, «узким» ИИ (narrow AI) называют модели, выполняющие чётко определённые функции: к ним и относится генеративный ИИ, который решает конкретные, ограниченные задачи (например, создание изображений).

ИИ способен значительно оптимизировать бизнес-процессы: в виду способности нейросетей обрабатывать беспрецедентный объём данных, машинное обучение (ML – machine learning) может использоваться для эффективной работы конкретных процессов и предприятий в целом. Так называют область ИИ, которая адаптируется к различной входной информации, включая большие наборы данных и инструкций. Алгоритмы ML могут обнаруживать закономерности, учиться делать прогнозы и давать

рекомендации через обработку данных и опыта. В обучении нередко задействован человек, который первоначально размечает определенный объем данных, с которыми и работают алгоритмы.

Глубокое обучение (DL – deep learning) – более продвинутый подход в ML, позволяющий обрабатывать широкий спектр информационных ресурсов (текст, неструктурированные данные – изображения), которыми не нужно управлять вручную [3]. В глубоком обучении используются нейросети, работающие как нейроны в человеческом мозге, принимая и обрабатывая данные через нейронные слои и распознавая их сложные характеристики.

Большую роль в работе с мультимодальными нейросетями (text-to-text и text-to-image моделями) играет обработка естественного языка (NLP – natural language processing), направленная на распознавание письменной речи. Многолетние исследования позволили обработать значительные объемы текстовых выборок, которые выступают как источники контекста, словарного запаса, синтаксиса и семантического значения [3].

ИИ сегодня активно внедряется, например, в области маркетинга и продаж, разработки продуктов и услуг, стратегиях и корпоративных финансах. Но последним трендом стала его интеграция в области дизайна и моды. Так, например, он может применяться на этапе создания продукта (элемента костюма): ИИ может помочь в преобразовании эскизов в высококачественные дизайны, обогатить идеи через генерацию креативных вариантов, адаптировать с учетом потребностей отдельных потребителей [4]. Так, например, возможно внедрение эскизов, тканей, цветовых палитр и узоров на платформу, работающую на базе GAI, для автоматизации создания дизайна модной продукции [1].

Отдельно стоит обратить внимание на цифровые примерки одежды, которые реализуются не только с помощью AR- и VR-технологий, но и ИИ. Задача виртуальной примерки – перенести одежду на исходное изображение человека. Этот процесс сопряжен с трудностями получения реалистичного результата: из-за различий между людьми на изображениях и образов моделей появляется проблема согласования двух тел. Бесшовный синтез желаемой одежды и модели в целевом изображении также является фактором, влияющим на успех процесса виртуальной примерки [1].

Также в системе рекомендаций цифрового шоппинга используются свёрточные нейросети (CNN – convolutional neural network) и технологии компьютерного зрения. Они применяются для извлечения визуальных характеристик предметов [1] и при поиске одежды, которая была сфотографирована в реальной жизни. Благодаря значительным

возможностям извлечения признаков, методы глубокого обучения стали наиболее распространённым решением проблемы поиска модной одежды. Для моделирования сходства предметов костюма используется глубокая сеть, которая применяется для определения, является ли одежда на двух изображениях одинаковой на основе набора разработанных правил [1]. Образцы с совпадающими метками рассматриваются как положительные пары, с несовпадающими – как отрицательные. Такой поиск помогает клиентам выбрать подходящие товары из огромного набора данных [1].

Но в контексте дизайн-деятельности наиболее интересен генеративный ИИ (genAI или GAI) – технология, создающая контент (аудио, видео: код, текст, изображения) в соответствии с поступающим запросом. Вместо того, чтобы просто идентифицировать или классифицировать информацию, генеративный ИИ создаёт новые данные, используя DL.

После прорывного 2023 г. генеративный ИИ стал интегрироваться и в индустрию моды. По результатам исследования BoF-McKinsey, 73 % респондентов заявили, что создание ИИ станет важным приоритетом для бизнеса в 2024 г., однако в регулярные процессы GAI внедрили только 4 % руководителей модных брендов. Крупные компании предпочитают действовать осторожно, постепенно интегрируя новые технологии. Одним из наиболее востребованных подходов становится использование в дизайне и разработке продукта [4].

Генеративный ИИ, по мнению Harreis H., Koullias T., Roberts R. и Te K., способен повлиять на всю экосистему моды: его можно применять для создания продаваемых дизайнов, снижения затрат на маркетинг, в целях персонализации, для оптимизации логистических процессов [1]. Достижения в этой области позволили эффективнее анализировать данные, прогнозировать тренды, совершенствовать рабочие процессы дизайнеров моды. Их самостоятельная деятельность состоит из основных пяти этапов.

1. Анализ внутренних и внешних данных. Обычно разработка дизайна одежды реализуется за полгода или год до начала сезона продаж. Внутренними данными при этом называют результаты реализации прошлых коллекций, информацию о наиболее востребованных товарах. В итоге определяются ключевые тенденции, которые поспособствовали прибыльности. Также анализируются мировые тенденции моды на основе разработок ведущих брендов – внешние данные. Подиумные коллекции являются одним из наиболее значимых и весомых факторов в создании модных изделий.

2. Определение концепции в качестве направления сезона. Дизайнерами определяется общая

тема и настроение дизайнов одежды.

3. Создание дизайна одежды в соответствии с концепцией сезона. Концепция позволяет сохранять единообразие коллекции и включает различные модификации костюмов. На оценку разработок влияет мнение не только дизайнеров, но и менеджеров магазинов и мерчендайзеров.

4. Модификация вновь созданного дизайна необходима для переработки успешного опыта и фирменного стиля бренда, который узнают постоянные покупатели.

5. Доработка дизайна одежды [5] – этот процесс исследователи рекомендуют реализовывать дизайнерам вручную.

Согласно анализу McKinsey, генеративный ИИ в области моды может применяться в разработке продукта на стадиях написания брифа, создания мудбордов, визуальных образов и творческого вдохновения, а также в преобразовании эскизов в реалистичные визуализации [4]. Пока создание 3D-моделей – не самая развитая способность генеративного ИИ, однако потенциально он может справиться с этой задачей.

Исследователи рассматривают различные пути работы с изображениями с помощью ИИ: наибольшее внимание привлекают диффузионные модели (diffusion-modeling-based AI или diffusion models) и генеративно-сопоставительные сети (generative adversarial network – GAN). Они произвели революцию в способах создания, изменения и улучшения изображений, обеспечив беспрецедентный уровень реализма и креативности [6].

Модель GAN – это неконтролируемый метод глубокого обучения, который генерирует или редактирует новые поддельные изображения. Принцип её работы основывается на взаимодействии генератора и дискриминатора [6]. Они конкурируют друг с другом за улучшение качества генераций [5]: сеть генератора создает картинки, в то время как сеть дискриминатора различает реальные и сгенерированные изображения. Например, GAN может использоваться для управления текстурами: так была разработана нейросеть TextureGAN, с помощью которой можно размещать текстурный патч на эскизе в произвольных местах и масштабах. Другая модель, FashionGAN, также работает и с эскизами одежды, помимо рисунков тканей. Система устанавливает взаимосвязь между тканью и скрытым вектором, чтобы она вела себя наиболее реалистичным образом [6].

Вероятностная модель шумоподавляющей диффузии (DDPM – denoising diffusion probabilistic model) представляет другой подход к генеративному моделированию, основанный на диффузных процессах. DDPM итеративно обновляет условную плот-

ность, используя случайный шум, для постепенной генерации реалистичных выборок [6].

Как отмечают Guo Z., Zhu Z., Li Y., Cao S., Chen H. и Wang G., методы, основанные на GAN, могут использоваться в дизайне одежды для создания новых моделей, но им не хватает контроля над внешним видом и формой изделий при переходе от изображений, не относящихся к области моды [6]. Несмотря на то, что сегодня существует меньше программ, работающих на диффузионных моделях, они успешно справляются с семантической генерацией новой одежды из представленных и эталонных изображений.

Применение ИИ сегодня – одна из самых востребованных исследовательских тем в области моды, учёные ищут свои подходы в разработке дизайнов изделий. Так, например, в своей статье Choi W., Jang S., Kim H.Y., Lee S., Lee H. и Park S. представили разработку автоматизированного проектирования с использованием ИИ, которая состоит из четырёх модулей: первый и второй включают сбор и анализ внутренних и внешних данных соответственно, третий функционирует как база данных источников дизайна, служа хранилищем, а четвертый создает дизайны одежды и изменяет их [5] – он реализован на базе модели StyleGAN 2 [5], которая используется для генерации лиц людей.

В своём исследовании Zhang Y. и Liu C. рассмотрели возможность применения сервиса Midjourney в разработке коллекции одежды. Midjourney – это ИИ-генератор преобразования текста в изображение на основе диффузионного моделирования, как и аналогичные DiscoDiffusion, StableDiffusion и DALL-E 2 (на сегодняшний день наиболее эффективна третья версия ИИ), а также российские YandexART и Kandinsky 3.1. В общем механизм диффузионного моделирования в системах генерации изображений с ИИ включает три этапа:

- использование подсказок ввода (ключевых слов и текстовых описаний – промптов) для извлечения соответствующих изображений;
- наложение случайного (Гауссовского) шума, чтобы скрыть выбранную информацию об изображении, создавая вариации;
- рассеивание шума для создания изображения, соответствующего текстовым подсказкам.

Примечательно, что использование идентичных подсказок не приведёт к одинаковым результатам [7], поэтому особую важность приобретает корректировка подсказок для достижения наилучших результатов. Таким образом, подход множественных итераций так же может принести свои плоды, как и редактирование промпта.

В работе с генеративным ИИ могут возникнуть

проблемы, связанные с обработкой и уточнением подсказок ввода. Поэтому авторы отмечают важность ручного редактирования концепций, созданных с помощью ИИ: необходимо учитывать силуэт, конструкцию, ткань, эстетические свойства будущего изделия [7].

Исследователи выявили, что, при ряде преимуществ, всё ещё сложной задачей остаётся достижение сходства между изображениями, генерация разных ракурсов, а также Midjourney не всегда может отредактировать детали выходных изображений, что приводит к необходимости ручного вмешательства [7]. В свою очередь, несмотря на меньшую виртуозность в создании художественных изображений, Kandinsky 3.1 всё же позволяет корректировать изображения: менять объекты и задавать промпт для конкретных редактируемых участков. Zhang Y. и Liu C подчёркивают, что внедрять ИИ можно как в разработке физических, так и цифровых коллекций [7], однако в случае с первыми ИИ стоит использовать на начальных этапах проектирования, полагаясь на опыт и активное участие дизайнеров.

На сегодняшний день уже представлены опыты практического применения генеративного ИИ: CollinaStrada и HeliotEmil уже использовали эту технологию в коллекции SS 2024. Оба бренда применяли в качестве инструмента базу данных из прошлых коллекций и усовершенствовали генерацию языковыми подсказками.

Позитивный опыт интеграции ИИ демонстрирует и американский бренд Levi's – в 2021 г. он запустил учебный лагерь по машинному обучению. В результате значительно улучшилась коммуникация с сотрудниками-технарями. Дизайнеры и инженеры стали лучше понимать друг друга, а обучение сыграло удерживающую роль: для сотрудников оно стало мотивацией к продолжению деятельности в компании [1]. Так развитие профессиональной грамотности благоприятно отражается на предприятиях и на самих участниках рабочих процессов.

Также и российские бренды используют генеративные модели: например, летом 2023 г. GloriaJeans продемонстрировали коллекцию, созданную в содружестве с ИИ, а дизайнер Алёна Ахмадулина представила лукбук весна–лето 2023, с использованием сгенерированных иллюстраций.

Отдельно стоит отметить, что ИИ расширил горизонты развития моды в цифровой реальности: так с 2023 г. проходят конкурсные показы AIFashionWeek – инновационного мероприятия, в ходе которого объединяются и конкурируют дизайнеры, использующие генеративные модели в своей деятельности. Такие события стимулируют интерес к ИИ среди профессионалов – это может благоприятно отразиться на развитии моды в целом,

укреплении позиций модного бизнеса и лёгкой промышленности, а также на разработке новаторских дизайн-подходов.

Несмотря на то, что использование ИИ потенциально стимулирует развитие лёгкой промышленности и моды, его применение сопряжено с определёнными рисками. Например, убедительность результатов генераций не всегда свидетельствует о правильности результатов, так как модели обучаются на информации, в которой содержится доля человеческой предвзятости (гендерной, расовой и т. д.). Остро встают вопросы конфиденциальности, безопасности, надёжности, организационного, социального и экологического воздействия, а также интеллектуальной собственности [8]. Поэтому приоритетным становится ответственное использование генеративного ИИ, предпринимаются попытки снижения различных рисков, связанных с его применением:

- специалистам необходимо реализовывать тщательный отбор исходных данных во избежание ошибок и этических промахов;
- организациям стоит использовать небольшие специально разработанные модели, обученные на специальных источниках, так как использование GAI без собственных данных не даёт глубокого понимания процессов [9];
- если компания не имеет ресурсов для обучения ИИ с нуля, можно настраивать сторонние базовые модели или альтернативы с открытым исходным кодом [4];
- полученную информацию необходимо проверять – регулярный фактчекинг должен стать частью рутины человека;
- нельзя поручать ИИ принятие важных решений.

С развитием ИИ модная индустрия будет сталкиваться с необходимостью решения ряда сложностей, таких как:

- отбор качественных и многообразных данных, включающих в себя различные стили и культурные особенности, инклюзивный подход и т. д.;
- возможность качественного и эффективного синтеза моды в реальном времени, который оптимизирует деятельность дизайнера;
- мультимодальная интеграция – реализация полноценного бесшовного взаимодействия между текстом, изображениями и другими формами контента для более эффективного выражения мысли дизайнера;
- возможность интерпретации и понимания поведения ИИ [6].

Однако именно решение этих проблем позволит предприятиям актуализироваться и стать более востребованными в контексте современности.

Использование генеративного ИИ сегодня – не модный тренд, а требование нашего времени. Очевидно, что брендам будет необходимо значительно инвестировать в технологии. Особую важность приобретает обучение кадров в области лёгкой промышленности, в том числе конструкторов и дизайнеров [10]. Повышение квалификации позволит им пользоваться современными технологическими преимуществами, что благоприятно скажется на экономических показателях компании. При этом важно обращать внимание на реализацию тесной взаимосвязи и согласованности ИИ со стандартными отраслевыми процессами для обеспечения его практического применения в производстве [5].

ИИ предлагает также и новое качество жизни потребителя: это отражается как на маркетинговой, так и на дизайн-составляющей, поэтому лидерам индустрии необходимо задавать тон и на собственном примере демонстрировать эффективность применения GAI в бизнес-процессах, в том числе в творческих его этапах [4].

В заключение стоит сказать, что ИИ на данном этапе своего развития исключительно человекоориентирован. Он призван помогать профессионалам в разных областях, освобождать их от рутинной работы, с которой способна справиться машина, причём достаточно быстро. Таким образом, люди продолжают заниматься тем, что смогут сделать только они, как специалисты: это касается всех по-настоящему творческих процессов и креативной деятельности [1]. Поэтому важно воспринимать ИИ не как соперника, а как новый неотъемлемый инструмент, который

способен усовершенствовать рабочие процессы, сделать их более адаптивными, современными, эффективными.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В научном исследовании проанализированы принципы работы генераторов изображений (генеративно-состязательных сетей GAN и диффузионных моделей), проанализированы этапы деятельности дизайнеров моды с точки зрения интеграции ИИ-инструментов. В работе представлены примеры российских и мировых фешен-брендов, которые экспериментально сотрудничали с генеративными моделями для создания коллекций и в других дизайн-процессах. Особое внимание уделено инновационному событию – серии конкурсных показов AIFashionWeek. Также рассмотрены научные эксперименты зарубежных коллег, применяющих в своих исследованиях GAN (StyleGAN 2), а также популярный сервис Midjourney: выявлены достоинства и недостатки подходов, а также особенности работы, которые необходимо учитывать для достижения оптимальных результатов. При ряде преимуществ ИИ может допускать значительные погрешности и в определенных условиях работать некорректно – уделено внимание рекомендациям по работе с генераторами изображений во избежание создания нежелательного контента. ИИ ставит перед производителями в области лёгкой промышленности и моды ряд вызовов – решение этих сложностей поможет предприятиям получить конкурентное преимущество и развивать отрасль своей страны.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harreis, H. Unlocking the future of fashion [Электронный ресурс] / H Harreis [et al] // McKinsey&Company. – 2023. – P. 1–7. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/industries/retailour-insights/generative-ai-unlocking-the-future-of-fashion>. – Дата доступа: 15.09.2024.
2. Mu, X. Fashion intelligence in the Metaverse: promise and future prospects / X Mu [et al] // Artificial Intelligence Review. – 2024. – Vol. 57(67). – P. 1–41. DOI:10.1007/s10462-024-10703-8.
3. Jarek, K. Marketing and artificial intelligence / K Jarek, G Mazurek // Central European Business Review. – 2019. – Vol. 8(2). – P. 46–56. DOI:10.18267/j.cebr.213.
4. Amed, I. The State of Fashion / I. Amed, A. Berg, A. Balchandani. – New York: BQF, McKinsey&Company, 2024. – 128 p.
5. Choi, W. Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers / W. Choi [et al] // Fashion and Textiles. – 2023. – Vol. 10(39). – P. 1–17.
6. Guo, Z. Assisted Fashion Design: A Review. / Z. Guo [et al] // IEEE Access. – 2023. – Vol. 11. – P. 1–14. DOI:10.1109/ACCESS.2023.3306235.
7. Zhang, Y Unlocking the Potential of Artificial Intelligence in Fashion Design and E-Commerce Applications: The Case of Midjourney / Y. Zhang, C. Liu // Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research. – 2024. – Vol. 19. – P. 654–670. DOI:10.3390/jtaer19010035.
8. Chui, M. The economic potential of the generative AI [Электронный ресурс] / M. Chui [et al] // McKinsey&Company. – 2023. – P. 1–68. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#introduction>. – Дата доступа:

15.09.2024.

9. Brown, S Driving innovation with generative AI [Электронный ресурс] / S. Brown M. Banholzer // McKinsey&Company. – 2024. – P. 1–7. – Режим доступа: <https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/driving-innovation-with-generative-ai>. – Дата доступа: 15.09.2024.

10. Исследование витебского авангарда и использование его идей в дизайне графическом / Г. В. Казарновская, Н. И. Тарабуко, Н. А. Абрамович [и др.]. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2024. – 136 с.

## REFERENCES

1. Harreis H, Koullias T, Roberts R, Te K. Generative AI. Unlocking the future of fashion. *McKinsey&Company*. 2023:1–7. Available from: <https://www.mckinsey.com/industries/retailour-insights/generative-ai-unlocking-the-future-of-fashion>. [Accessed 15 September 2024].

2. Mu X, Zhang H, Shi J, Hou J, Ma J, Yang Y. Fashion intelligence in the Metaverse: promise and future prospects. *Artificial Intelligence Review*. 2024;57(67):1–41. DOI:10.1007/s10462-024-10703-8.

3. Jarek K, Mazurek G. Marketing and artificial intelligence. *Central European Business Review*. 2019;8(2):46-56. DOI:10.18267/j.cebr.213.

4. Amed I, Berg A, Balchandani A. The State of Fashion. New York: BQF, McKinsey&Company; 2024:128.

5. Choi W, Jang S, Kim HY, Lee S, Lee H, Park S. Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers. *Fashion and Textiles*. 2023;10(39):1-17.

6. Guo Z, Zhu Z, Li Y, Cao S, Chen H, Wang G. AI Assisted Fashion Design: A Review. *IEEE Access*. 2023;11:1–14. DOI:10.1109/ACCESS.2023.3306235.

7. Zhang Y, Liu C. Unlocking the Potential of Artificial Intelligence in Fashion Design and E-Commerce Applications: The Case of Midjourney. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*. 2024;19:654-670. DOI:10.3390/jtaer19010035.

8. Chui M, Hazan E, Roberts R, Singla A, Smaje K, Sukharevsky A, Yee L, Zimmel R. The economic potential of the generative AI. *McKinsey&Company*. 2023:1–68. Available from: <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/the-economic-potential-of-generative-ai-the-next-productivity-frontier#introduction>. [Accessed 15 September 2024].

9. Brown S, Banholzer M. Driving innovation with generative AI. *McKinsey&Company*. 2024:1–7. Available from: <https://www.mckinsey.com/capabilities/strategy-and-corporate-finance/our-insights/driving-innovation-with-generative-ai> [Accessed 15 September 2024].

10. Kazarnovskaya GV et al. Issledovanie vitebskogo avangarda i ispol'zovanie ego idey v dizayne graficheskom = Research of Vitebsk avant-garde and use of its ideas in graphic design. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2024:135 (In Russ.)

### Сведения об авторах

#### Демидова Мария Дмитриевна

Аспирант 2 курса, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва, Российская Федерация

*E-mail: boorova.maria@yandex.ru*

#### Рыкова Елена Сергеевна

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры художественного моделирования, конструирования и технологии изделий из кожи, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Москва, Российская Федерация

*E-mail: rykova-es@rguk.ru*

### Information about the authors

#### Maria D. Demidova

2nd year graduate student, the Kosygin State University of Russia, Moscow, Russian Federation

*E-mail: boorova.maria@yandex.ru*

#### Elena. S. Rykova

Cand. Sc. (in Eng.), Assoc. Prof. Associate Professor, Department of Artistic Modeling, Design and Technology of Leather Products, the Kosygin State University of Russia, Moscow, Russian Federation

*E-mail: rykova-es@rguk.ru*

Статья поступила в редакцию 22.11.2024.

## Кросс-дисциплинарный подход к проектированию одежды в системе «Авторская коллекция»

Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская

Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет»,  
г. Витебск, Республика Беларусь

**Аннотация.** В условиях стремительного увеличения потока информации в современном мире крайне важно применять уникальные и эффективные методы обучения, особенно для студентов творческих специальностей, нуждающихся в особом подходе для поддержания интереса и вовлеченности. В данной статье рассматривается кросс-дисциплинарный подход к обучению студентов по профилизации «Дизайн костюма» в контексте создания авторских коллекций, что формирует основную цель исследования. В работе применяются методы анализа успешных креативных практик, что позволяет выявить наиболее эффективные методики в обучении. Также рассмотрены примеры успешного применения креативных методик, которые стимулируют творческое мышление и формируют практические навыки, критически важные для будущей профессиональной деятельности специалистов легкой промышленности Республики Беларусь. Методы исследования многообразны: эмпирический (наблюдение, сравнение, измерение, эксперимент), теоретический (абстрагирование, анализ и синтез, индукция и дедукция, восхождение от абстрактного к конкретному) и креативный. Результатом исследования является решение вопроса быстроменяющихся трендов презентации модного продукта и адаптации учебного процесса к этим условиям, что способствует повышению конкурентоспособности студентов на рынке труда.

*Ключевые слова:* дизайн костюма, кросс-дисциплинарный подход, авторская коллекция, проектирование, производство.

## Cross-Disciplinary Approach to Clothing Design in the Author's Collection System

Mikita S. Zakharchuk, Luydmila V. Popkovskaya

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

**Abstract.** In the context of the rapidly increasing flow of information in the modern world, it is extremely important to apply unique and effective teaching methods, especially for students of creative specialties who need a special approach to maintain interest and involvement. This article considers a cross-disciplinary approach to teaching students majoring in Costume Design in the context of creating author's collections, which forms the main goal of the study. The work uses methods of analyzing successful creative practices, which allows us to identify the most effective teaching methods. Additionally, examples of the successful application of creative methods that stimulate creative thinking and form practical skills that are critical for the future professional activities of light industry specialists in the Republic of Belarus are considered. The research methods are diverse: empirical (observation, comparison, measurement, experiment), theoretical (abstraction, analysis and synthesis, induction and deduction, ascent from the abstract to the specific) and creative. The result of the study is a solution to the issue of rapidly changing trends in the presentation of a fashion product and the adaptation of the educational process to these conditions, which helps to increase the competitiveness of students in the labor market.

*Keywords:* costume design, cross-disciplinary approach, author's collection, design, production.

### ВВЕДЕНИЕ

Кросс-дисциплинарный подход подразумевает выявление связей и взаимодействий между различ-

ными, на первый взгляд, независимыми областями деятельности человека. Вместо изучения отдельных дисциплин в их изолированном виде, студенты ос-

ваивают интегрированные знания, которые позволяют им видеть и использовать взаимосвязи между различными областями. Такой подход способствует более глубокому пониманию сложных концепций и позволяет применять комплексные знания в профессиональной практике, решая задачи, требующие междисциплинарного подхода. Это расширяет горизонты образования и развивает навыки, необходимые для успешной адаптации и развития инновационной деятельности в будущей профессиональной деятельности [1].

Современное общество предъявляет высокие требования к дизайнерам-модельерам, ожидая от них не только глубоких знаний в области моды, но и способности эффективно работать в различных дисциплинах и сферах. Обучающиеся сегодня должны быть вовлечены не только в разработку и создание одежды, но и в такие области, как маркетинг, управление проектами, устойчивое развитие и использование современных технологий. В связи с этим образовательный процесс для студентов данной профессии должен быть адаптирован к быстро меняющимся условиям и требованиям рынка труда [2].

Для обеспечения успешной профессиональной деятельности молодых специалистов необходимо, чтобы они приобрели не только технические и художественные навыки, но и комплексные знания в смежных областях. Это может включать умение работать с современными цифровыми инструментами, осведомленность о трендах в устойчивой моде, способность анализировать потребителей и управлять проектами от концепции до реализации.

Цель исследования – создание уникального модного продукта, идентифицирующего автора в сфере fashion-индустрии, путем интеграции в данный процесс кросс-дисциплинарного подхода, что способствует повышению результативности проекта.

Адаптация образовательных программ подразумевает интеграцию кросс-дисциплинарных подходов, таких как совместные проекты с другими специальностями, внедрение инновационных технологий в учебный процесс, а также практические занятия, ориентированные на реальные задачи и условия рынка. Таким образом, целью образования в данной области становится подготовка студентов, способных успешно интегрироваться в разнообразные аспекты индустрии моды и внести значительный вклад в ее развитие.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования поставленного вопроса является междисциплинарный подход к проектированию коллекции в системе «авторская». Примером успешного применения кросс-дисциплинарного подхода к проектированию и обучению может по-

служить дипломный проект «Система проектирования «Авторская коллекция», выполненного в рамках внутривузовского студенческого гранта. Данная работа демонстрирует разносторонний подход к проектированию современной коллекции одежды и взаимную интеграцию охваченных сфер и их влияние на конечный результат [2].

Рассматривая данный проект, можно выделить основные этапы проектирования, которые соответствуют элементам кросс-дисциплинарного подхода. Эти этапы охватывают широкий спектр действий и взаимодействий, помогающих обеспечить успешную интеграцию различных дисциплин и направлений в процессе создания конечного продукта. Ниже приводится более детализированное описание этих этапов:

1. Исследование и анализ. На начальном этапе важно провести всестороннее исследование, включающее анализ текущих трендов, потребностей рынка и ожиданий целевой аудитории. В этом процессе можно использовать данные из области маркетинга, социологии и культурологии для более глубокого понимания контекста и создания обоснованной концепции проекта [4].

2. Разработка концепции. На основе проведенного анализа разрабатывается концепция проекта, включающая в себя не только художественные и дизайнерские идеи, но и элементы стратегического планирования и устойчивого развития.

3. Проектирование. На данном этапе происходит создание первых визуализаций проекта и их графический анализ с точки зрения закономерностей композиции костюма. После утверждения эскизного проекта следует процесс воплощения проекта в материале. Кросс-дисциплинарный подход предполагает активное сотрудничество между дизайнерами, инженерами, технологами и специалистами по устойчивому развитию – данные условия взаимодействия обеспечивает преддипломная практика студентов.

4. PR и маркетинг. Параллельно с разработкой продукта необходимо разрабатывать стратегию продвижения нового модного продукта. Включение элементов маркетинга, управления проектами и PR позволяет эффективно представить продукт на рынке, создать его имидж и обеспечить успешный запуск [4].

Таким образом, кросс-дисциплинарный подход в проектировании позволяет интегрировать различные области знаний и навыков, обеспечивая более комплексное и эффективное решение задач на каждом этапе проектного процесса.

На этапе исследования автором выполнен исторический обзор ведущих домов моды XIX–XX века, по итогам которого выделены уникальные принципы и методы проектирования

коллекции и определена ведущая концепция проекта: девиз проектируемой коллекции «Яна», что с белорусского языка переводится как местоимение «она». Источником вдохновения послужила личная история: проект посвящен женщинам, помогающим на протяжении жизненного пути реализовать мечту. Белорусская интерпретация девиза выбрана неспроста: труд посвящен бабушке, в названии коллекции обыгрывается и ее имя – Яна. Каждый образ коллекции несет в себе вклад отдельного человека в формирование личности автора. Концепция «трансляции личной истории через творчество» соответствует современной повестке информационно-просветительской работы с молодежью в поддержку института семьи, как важнейшего источника формирования и развития личности, воспроизводства человеческого капитала, накопления и передачи традиций, духовных и нравственных ценностей [3].

Далее автором проведена тренд-аналитика в модной индустрии 2024–2025 гг., результаты которой легли в основу формообразования проектируемой коллекции по различным параметрам: силуэт, пропорции, длина, объем плеч, цвет и графический рисунок.

Таким образом, с учетом установленных направлений в развитии моделирования костюма и ассортимента современных тканей разработаны эскизы авторской коллекции женской одежды под девизом «Яна», представленные на рисунке 1.

Художественно-композиционными особенностями проекта являются: ахроматическое цветовое решение, многообразие графического рисунка, работа с пропорциями женской фигуры и их вариативность за счет оригинального кроя. Сложность конструктивных решений заключается во внедрении трансформирующих силуэт и пропорции элементах. Использование большого количества рисунков позволило добиться идентификации коллекции при сохранении ее общей лаконичности и сдержанности, но в целом проект подчинен принципу многослойности и «элегантной небрежности». В проекте

используются сложные варианты конструкторского решения. Каждая модель отличается друг от друга по крою, объему, цвету, декоративным элементам. Коллекция состоит из изделий полуприлегающего и прилегающего силуэтов, с помощью которых подчеркивается женственность образа. Конструктивное решение основывается на минимальном членении форм. Все членения предельно лаконичны и преимущественно с радиусом кривизны и небольшой прямолинейностью. Ещё одной особенностью является двубортность жакетов и утрированная линия плеч, во всех плечевых изделиях. Подчеркивая все аспекты проектирования коллекции, напрашивается вывод о гармоничности заданной концепции и проектируемых изделий с точки зрения законов построения композиции [3].

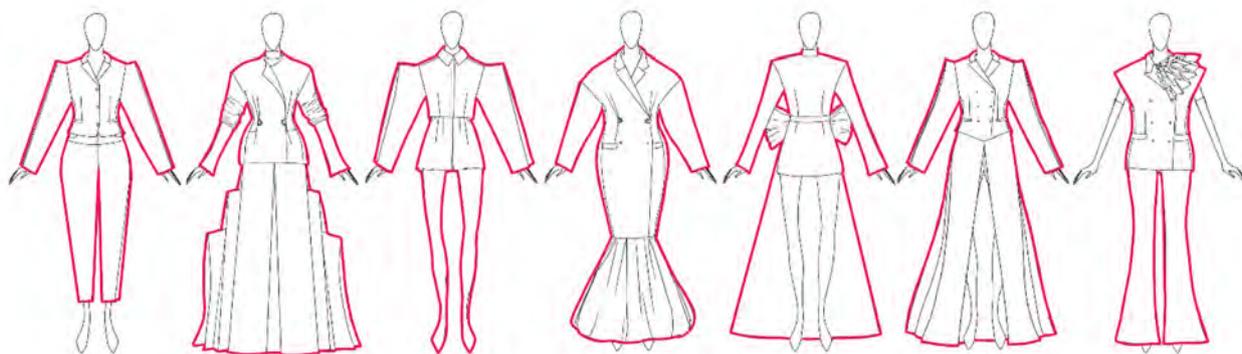
Для более полного и четкого восприятия коллекции проведен анализ эскизов моделей с точки зрения основ композиции. Представлено 4 авторские схемы графического анализа костюма, постепенно раскрывающие суть построения модельного ряда.

При создании проекта автор обратился к стилю 90-х. Следуя выбранному направлению, в моделях прослеживается четкие конструктивные членения и силуэт, который составляют прямые и плавные линии. Выражено господство симметрии в костюме с небольшими асимметричными элементами. Композиционные приемы статистических форм развиваются благодаря динамике, прослеживающейся в способе ношения изделий. Анализ силуэта костюма представлен на рисунке 2.

Включая в исследование цвета в костюме соотношения белого, черного, оттенков серого, мы получаем практически неограниченную палитру тончайших цветовых сочетаний, которые прекрасно взаимодействуют между собой. Условия эмоциональной выразительности ахроматической гаммы: светлотный диапазон, светлотный контраст, пропорциональные отношения площадей, занимаемых каждым тоном. Графический анализ распределения зон ахроматической гаммы представлен на рисунке 3.



Рисунок 1 – Эскизы проектируемой коллекции  
Figure 1 – Sketches of the designed collection



**Рисунок 2 – Графический анализ силуэта коллекции**  
**Figure 2 – Graphic analysis of the collection silhouette**



**Рисунок 3 – Графический анализ распределения зон ахроматической гаммы**  
**Figure 3 – Graphic analysis of the distribution of achromatic gamma zones**

Одним из законов композиции костюма является выделение главного в составе целого. Предмет, выполняющий роль композиционного центра, не должен быть самым крупным – он привлекает внимание зрителя, приглушает отвлекающие контрасты и второстепенные детали, подчиняя все главному [5].

В костюме роль композиционного центра обычно отводится деталям. Контраст делает образ костюма более ярким и выразительным. На рисунке 4 (модель № 5) центром композиции является бант. В композиции костюма, модель № 3, доминируют рукава: они привлекают внимание необычной формой и массой. Акцент в костюме (модель № 7) поставлен на плече в виде аксессуара; модель № 4 имеет трансформирующую образ деталь (декоративную петлю), которая является акцентом, позволяющим изменять степень прилегания в области талии. Это является своеобразным элементом способа крепления изделия, что положительно влияет на покупательский спрос, варьируя полнотные характеристики костюма; дизайнерские решения на моделях № 1, 2, 6, в виде двухцветных отлетных деталей –

основные источники притяжения зрительского взгляда в образах. Графический анализ распределения акцентов в авторской коллекции представлен на рисунке 4.

Одной из отличительных черт коллекции является разнообразие графических рисунков: мелкозорчатый горох на белом фоне, крупнозорчатый горох на черном фоне, шахматный принт, мелкозорчатые дотсы на черном фоне, крупнозорчатые дотсы на черном фоне, абстрактная геометрия. На рисунке 5 представлена схема распределения графического рисунка в авторской коллекции.

Схематический анализ построения проекта позволяет грамотно осмыслить степень его значимости. Коллекция соответствует модным тенденциям сезона «Осень-зима 2024/2025» по силуэту, формообразованию, черно-белому цветовому решению, материалам и пропорциям. Акцентами данной коллекции являются трансформация утрированной формы плечевого пояса для верхних изделий, женственная пластика, цветовой выбор в пользу монохромии с разнообразием графического принта «горох».

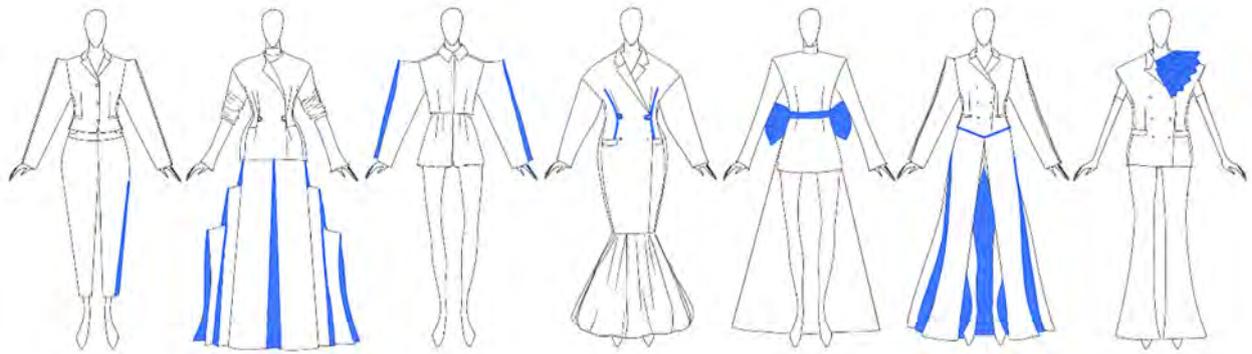


Рисунок 4 – Графический анализ распределения акцентов  
Figure 4 – Graphic analysis of the distribution of accents



Рисунок 5 – Графический анализ распределения графического рисунка  
Figure 5 – Graphical analysis of the distribution of a graphical pattern

Коллекция предназначена для девушек и женщин в широком возрастном диапазоне: от 18 до 45 лет, выполнена самостоятельно на предприятии ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест) с соблюдением правил технологии и конструирования. Конструкции изделий разрабатывались в программе САПР «GRAFIS» с консультационной помощью специалиста-конструктора экспериментальной лаборатории и соответствуют технико-экономическим показателям производства одежды, о чем свидетельствуют 5 актов внедрения в производство на следующих предприятиях: ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест) и ООО «Сорочка» (г. Брест).

Большая часть костюмных образов отвечает запросу на удобство и функциональность с потребительской стороны, на новаторство и оригинальность со стороны дизайнера. Особенностью проекта является использование качественных отечественных материалов, преимущественно натурального состава, и функционального кроя, отражающего современный тренд на утилитарность, в симбиозе с авторскими разработками в сфере ди-

зайна костюма, выполненных в рамках дисциплины «Арт-технологии в дизайне костюма и тканей» [6].

На рисунках 6–9 представлено художественное описание внешнего вида проектируемой коллекции, выполненной в материале.

Модель № 1 (рис. 6 а), представлена полупальто-трансформером белого цвета с расширенным плечевым поясом и застежкой на два ряда металлических пуговиц; брюками со сложным многоступенчатым моделированием в боковом шве, характеризующееся методом комбинаторики, и платьем длины мини, выполненным из материала с нанесенным графическим рисунком «горох», с длинными рукавами, застежкой на потайную молнию в среднем шве спинки и воротником стойкой. Модель мини-платья внедрена в массовое производство, о чем свидетельствует акт внедрения на предприятии ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест).

Модель № 2 представляет собой ансамбль, состоящий из приталенного жакета в крупноузорчатый графический рисунок «горох» с фантазийными рукавами и джинсами, оригинальность которых прояв-

ляется в введении дополнительной отлетной детали левой передней части брюк. Благодаря данному из-

делию проектируемый ансамбль характеризуется неповторимостью дизайнерского решения (рис. 6 б)



№ 1 а (No. 1 а)



№ 2 б (No. 2 б)

**Рисунок 6 – Модели № 1 а и № 2 б**  
**Figure 6 – Models No. 1 а and No. 2 б**

Модель № 3 представлена монолуком, выполненным из неопренового материала с графическим рисунком «шашка», комбинируемым на объемных рукавах свободного покроя с мелкоузорчатым горохом. Образ характеризуется ярко выраженной динамикой, достигающей в результате ношения изделия благодаря естественным изгибам женской фигуры. Модель состоит из укороченной рубашки приталенного силуэта с фантазийными рукавами, сорочечным воротником и потайной застежкой на пуговицы; мини-шортами с наклонными к боковому шву карманами и двумя односторонними складками на каждой части переда; эффект единения составляющих монолука достигается базовыми леггинсами

с закрытым носком, которые зрительно удлиняют и вытягивают силуэт (рис. 7 а).

Модель № 4 (рис. 7 б) характеризуется сложной комбинаторикой и разнообразием графического рисунка в образе, который состоит из двубортного укороченного жакета приталенного силуэта с фантазийными рукавами со складками, базовыми леггинсами и распашной юбкой-шлейфом из пяти обтачных полотнищ, имеющих внутренней крупноузорчатый и внешний мелкоузорчатый графический рисунок.

Оригинальность жакета подтверждается актом внедрения в производство на ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест) (рис. 7 б).



№ 3 а (No. 3 а)



№ 4 б (No. 4 б)

**Рисунок 7 – Модели № 3 а и № 4 б**  
**Figure 7 – Models No. 3 а and No. 4 б**

Модель № 5 представлена ансамблем из костюма-двойки, состоящего из двубортного жилета на два ряда металлических пуговиц и комбинированным пиджачным воротником и брюками-клевш с застежкой на молнию и пуговицу. Образ выполнен из материала с эффектом «металл» и дополнен аксессуарами: черными перчатками; декоративным архитектурным элементом, выполненным в рамках дисциплины «Арт-технологии в дизайне костюма и тканей» и являющимся акцентом образа; металлическим браслетом и кольцом, надетыми поверх перчатки, что подчеркивает элегантность образа (рис. 8 а). Модель № 5 характеризуется отличительной конкурентоспособностью на рынке товаров легкой промышленности Республики Беларусь, что подтверждается 2 актами внедрения в производство на следующих предприятиях: ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест) и ООО «Сорочка» (г. Брест).

Модель № 6 – прообраз черной «бабушкиной» сумки с большим количеством швейных изделий с различными графическими рисунками. Первым изделием данного образа автор предлагает разработку женского демисезонного пальто, выполненного из пальтовой ткани черного цвета. Изделие трансформируемого силуэта: от прямого до полуприлегающего – с двубортной застежкой на два ряда контрастных пуговиц. Доминантой является решение плечевого уровня модели за счёт расширения линии плеча и дополнительных плечевых накладок. Данное изделие отмечено на заседании художественно-технического совета ООО «Дизайн-студия ЛБ» (г. Брест) и рекомендовано к постановке на производство. Второй слой образа представлен платьем длины макси с комбинированным графическим рисунком (крупный и средний горох) (рис. 8 б).

Модель № 7 (рис. 9) – символ «подарка», представленный идейной вдохновительницей коллекции. Образ транслируется мини-платьем, выполненным из материала с эффектом «металл», с длинным рукавом и воротником «стойка», застежкой в среднем шве спинки. Символизм модели достигнут благодаря дополнительным декоративным элементам: бант в среднеузорчатый горох и шлейф из основного материала.

Проект тесно связан с историческим источником в контексте ценности и культуры, что является привлекательным с точки зрения проектирования изделий в соответствии с современными тенденциями моды. Источником вдохновения коллекции стала личная история и персоналии. Этап проектирования включает характеристику построения авторской коллекции, особенности проектирования изделий различного назначения: от повседневного до нарядного [4]. Представлено 12 эскизов, разработано 7 образов, состоящих из 4 жакетов, 1 пальто, 1 жилета, 2 платьев, 2 юбок, 1 шорт, 2 леггинсов, 4 брюк и 3 декоративных элементов. Общее количество изделий – 20. Модели выполнены самостоятельно на предприятии ООО «Дизайн-студия ЛБ» в рамках преддипломной практики. Пять изделий внедрены в массовое производство на следующих предприятиях: ООО «Дизайн-студия ЛБ» и ООО «Сорочка».

Практическая значимость этапа – презентация авторской коллекции «Яна» состоялась в рамках XXXIII Республиканского фестиваля-конкурса моды и фото «Мельница моды», где удостоена диплома III степени в номинации «Школа моды (женские коллекции)» и специального приза от Международной выставки «СРМ: Collection Premium Moscow» (г. Минск, 3–5.06.2024 г.) (рис. 10).



№ 5 а (No. 5 a)

№ 6 б (No. 6 b)

Рисунок 8 – Модели № 5 а и № 6 б  
Figure 8 – Models No. 5 a and No. 6 b



Рисунок 9 – Модель № 7  
Figure 9 – Model No. 7



Рисунок 10 – Демонстрация образа коллекции на презентации  
в рамках XXXIII Республиканского фестиваля-конкурса моды и фото  
«Мельница моды» (г. Минск, 3–5.06.2024 г.)  
Figure 10 – Demonstration of the collection image at the presentation  
within the framework of the XXXIII Republican Festival-Competition of Fashion and Photo  
"Fashion Mill" (Minsk, June 3–5, 2024)

Кросс-дисциплинарный подход к проектированию в системе «Авторская коллекция» предусматривает создание виртуальных и материальных инструментов PR и маркетинга готового продукта моды, что обеспечивает выработку имиджа коллекции и обеспечение ее успешного запуска. Графическая часть проекта представлена планшетным рядом, выполненным в технике фото. Фотографический метод – самый распространенный пример графической подачи в модной индустрии, который в настоящее время считается одним из самых актуальных. Работа по реализации инструментов продвижения проводилась в следующей последовательности: определен вид съемки; выбран графический язык, раскрывающий художественную идею коллекции; проведен анализ аналогов; подобраны позирование и организация моделей в кадре, а также локация съемки; найдены соотношения форм и окружающего пространства; организация плоскости цветом, пятном и линией; проведен выбор наиболее подходящих кадров под идею коллекции; организация планшетного ряда с включением шрифтовой графики; компоновка планшетов в единую структурную композицию [7].

Фотосессия – процесс фиксации образа способом фотографирования. Как правило, происходит в студии (студийная фотосессия) или на открытом воздухе (выездная фотосессия). Каждый вариант обладает своими характерными чертами и решает установленные задачи. Рекламная фотография – особый вид фотографии, один из видов «коммерческой фотографии» и включает в себя практически все жанры, но не заменяет ни один из них [5]. Для более выгодного положения коллекции с точки зрения уже существующей концепции проекта источником вдохновения для съемки выступил период ста-

новления именитых домов моды XIX–XX веков. Примером графической подачи проекта послужил сборник модного дома – упорядоченное собрание коллекций бренда, созданных с периода его основания по настоящее время, имеющее структуру и определенную градацию по сезонам и периодам работы ведущих дизайнеров [8].

Примеры разворотов сборников коллекций ведущих домов моды представлены на рисунке 11.

Основными задачами сборника коллекций как функционального элемента модного дома являются позиционирование идентичности в сфере fashion-индустрии, демонстрация новаторских и оригинальных дизайнерских решений, отражение истории и персоналий бренда через фотоматериал и информационные блоки [9].

Учитывая оригинальность, неповторимость образов коллекции, фотосессия организована в фотолaborатории кафедры дизайна и моды УО «Витебский государственный технологический университет» в самостоятельно созданной локации «мастерская кутюрье». Обстановку дополнял подготовленный реквизит и конструкция гардеробной системы. Фотосессия проходила с тремя дополнительными источниками света. Впечатление от коллекции можно усилить с помощью художественно-графической подачи эскизов и фотоснимков в виде презентационного планшетного ряда. Из большого числа, 400 фотографий, авторской коллекции отобран материал для дальнейшей проработки экспозиционной части (36 фото). Также проведен поисковый вариант оформления и компоновки графического ряда и изменение цветовых составляющих изображения: оттенка, тона, насыщенности. На рисунках 12–13 представлена вариативность компоновки планшетного ряда.



Рисунок 11 – Аналоги разворотов сборников коллекций модного дома Dior  
Figure 11 – Analogues of the spreads of the collections of the Dior fashion house



Рисунок 12 – Поисковый вариант компоновки планшетного ряда № 1  
Figure 12 – Search version of the layout of tablet row No. 1



Рисунок 13 – Поисковый вариант компоновки планшетного ряда № 2  
Figure 13 – Search version of the layout of tablet row No. 2

Для дальнейшей работы выбран вариант компоновки планшетного ряда № 2 (рис. 13). Далее проводился композиционный анализ распределения графического рисунка в планшетном ряду, в ходе чего выявлена более грамотная расстановка фото. На рисунке 14 представлен заключительный вариант компоновки планшетов в единую завершённую композицию с учетом распределения графических пятен. Схема наглядно иллюстрирует уравновешенность и логическую завершенность решения экспозиции.

Схема распределения информационных блоков показывает места расположения текста в пределах

планшетов. Благодаря размещению общих текстовых зон планшетный ряд выглядит гармонично и шрифтовые композиции не препятствуют обзору композиционного ряда и фото в целом. Схема расположения текста в планшетном ряду представлена на рисунке 15 [10].

Результативность графической части проекта характеризуется решением поставленных задач:

1. Проведен анализ аналогов фотосъемок ведущих домов моды. В результате анализа подготовлен реквизит в тематике «мастерской кутюрье», организована локация в фотолаборатории кафедры дизайна и моды УО «ВГТУ».



Рисунок 14 – Схема распределения графического рисунка на планшетном ряде  
Figure 14 – Scheme of distribution of graphic design on a row of tablets



Рисунок 15 – Распределение шрифтовых информационных блоков  
Figure 15 – Distribution of font information blocks

2. Образность коллекции подчеркивается различными подходами проведения фотосессии: рекламным и художественно-ситуационным – результаты отражены в 400 снимках, из которых последовательно отбирались лучшие. Проведен композиционный анализ распределения ахроматической цветовой гаммы и шрифтовой графики, наглядно иллюстрирующий уравновешенность и логическую завершенность решения экспозиции.

3. Выполнены поисковые варианты компоновки (5 и 6 планшетов) и отобран утвержденный ряд графических планшетов в количестве 8 штук, размером 791 x 594 мм. Система графической подачи соответствует современным тенденциям, рекламным задачам и широко используется в модной индустрии.

4. Графическая подача соответствует современным тенденциям полиграфии и является актуальным и лаконичным решением, которое раскрывает замысел автора и подчёркивает индивидуальность проектного решения, благодаря выбору и использованию подходящей стилистики оформления планшетов.

5. Планшетный ряд дополняет коллекцию одежды, выполненную в материале, так как является ее рекламной подачей.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования было показано, что кросс-дисциплинарный подход к обучению студентов профилизации «Дизайн костюма» является эффективным инструментом для развития творческих способностей и формирования необходимых навыков в сфере дизайна и моды. Примеры успешного применения креативных методик подтверждают их значительный вклад в подготовку молодых специалистов к профессиональной деятельности. Анализ быстроменяющихся трендов позволяет адаптировать учебный процесс к текущим реалиям модной индустрии, обеспечивая студентам необходимые знания и навыки для успешной карьеры в легкой промышленности. Таким образом, внедрение инновационных методов обучения в систему образования способствует повышению качества подготовки специалистов и поддержанию их конкурентоспособности на рынке труда.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамович, Н. А. Графический язык в дизайне / Н. А. Абрамович, Д. А. Столбанова // 55-я Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов : тезисы докладов, Витебск, 27 апреля 2022 года. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2022. – С. 171–172. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_49508432\\_83467996.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49508432_83467996.pdf).
2. Захарчук, Н. С. Влияние стартапа на проектно-креативную деятельность / Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская // Инновации и современные технологии в индустрии моды : материалы V Всероссийской науч.-практ. конф., Новосибирск, 18 мая 2023 года. – Новосибирск: ФГБОУ ВО «СГУВТ», 2023. – С. 91–95. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_56194216\\_88620583.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_56194216_88620583.pdf).
3. Захарчук, Н. С. Выявление ДНК бренда в разрезе авторского творчества / Н. С. Захарчук, Л. В. Попковская // Материалы и технологии. – 2024. – № 1(13). – С. 33–41. DOI 10.24412/2617-149X-2024-1-33-41.
4. Choi, W. Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers / W. Choi, S. Jang, H.Y. Kim, S. Lee, H. Lee, S. Park // Fashion and Textiles. – 2023. – Vol. 10 (39). – P. 1–17. DOI:10.1186/s40691-023-00360-w
5. Исследование витебского авангарда и использование его идей в дизайне графическом / Г. В. Казарновская, Н. И. Тарабуко, Н. А. Абрамович [и др.]. – Витебск : Витебский государственный технологический университет, 2024. – 136 с.
6. Мандрик, А. В. Создание имиджевого фотопродукта в рамках учебного процесса / А. В. Мандрик, Н. С. Захарчук // Материалы докладов 56-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов : в 2 Т., Витебск, 19 апреля 2023 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – С. 89–91. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_54666786\\_99130380.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54666786_99130380.pdf).
7. Попковская, Л. В. Разработка имиджевой коллекции с элементами направления «sustainable fashion» / Л. В. Попковская, Н. С. Захарчук // Материалы докладов 56-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов : в 2 Т., Витебск, 19 апреля 2023 года. Том 2. – Витебск: Витебский государственный технологический университет, 2023. – С. 86–89. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_54666785\\_77024514.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54666785_77024514.pdf).
8. Абрамович, Н. А. Тенденции рисунков для цифровой печати на ткани / Н. А. Абрамович, А. С. Сергеева, А. В. Долгая // Материалы докладов 51-й Междунар. науч.-техн. конф. преподавателей и студентов, посвященной Году науки: в 2 Т., Витебск, 25 апреля 2018 года. Том 2. Витебск: Витебский

государственный технологический университет. – 2018. – С. 59–62. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_36354085\\_82650887.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_36354085_82650887.pdf).

9. Samutsina, N. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics / N. Samutsina, N. Abramovich // AIP Conference Proceedings : INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI 2021), Vitebsk, 08–10 June 2021. Vol. 2430. – Vitebsk: AIP PUBLISHING, 2022. – P. 020004. DOI 10.1063/5.0077193.

10. Jarek, K. Marketing and artificial intelligence / K. Jarek, G. Mazurek // Central European Business Review. – 2019. – Vol. 8 (2). – P. 46–56. DOI:10.18267/j.cebr.213.

## REFERENCES

1. Abramovich N, Stolbanova D. Graphic language in design. In: Tezisy докладov 55-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : Tezisy докладov, April 27, 2022, Vitebsk. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2022:171–172. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_49508432\\_83467996.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_49508432_83467996.pdf). (In Russ.).

2. Zakharchuk N, Popkovskaya L. The influence of a startup on project-creative activity. In: Innovatsii i sovremennyye tekhnologii v industrii mody : Materialy V Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Innovations and modern technologies in the fashion industry: Proceedings of the V All-Russian scientific and practical conference, May 18, 2023, Novosibirsk. Novosibirsk: FGBOU VO «SGUVT»; 2023:91–95. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_56194216\\_88620583.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_56194216_88620583.pdf). (In Russ.).

3. Zakharchuk NS, Popkovskaya LV. Identification of brand DNA in the context of author's creativity. *Materialy i tekhnologii = Materials and technologies*. 2024;1(13):42–48. DOI:10.24412/2617-149X-2024-1-42-48. (In Russ.)

4. Choi W, Jang S, Kim HY, Lee S, Lee H, Park S. Developing an AI-based automated fashion design system: reflecting the work process of fashion designers. *Fashion and Textiles*. 2023;10(39):1-17. DOI:10.1186/s40691-023-00360-w.

5. Kazarnovskaya G et al. Issledovanie vitebskogo avangarda i ispol'zovanie ego idey v dizayne graficheskom = Research of Vitebsk avant-garde and use of its ideas in graphic design. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2024:135. (In Russ.)

6. Mandrik A, Zakharchuk N. Creation of an image photo product within the educational process. In: Materialy докладov 56-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : V DVUKH TOMAKH, April 19, 2023, Vol. 2., Vitebsk. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2023:89–91. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_54666786\\_99130380.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54666786_99130380.pdf). (In Russ.)

7. Popkovskaya L, Zakharchuk N. Development of an image collection with elements of the "sustainable fashion" direction. In: Materialy докладov 56-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : V DVUKH TOMAKH, April 19, 2023. Vol. 2., Vitebsk. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2023:86–89. [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_54666785\\_77024514.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_54666785_77024514.pdf). (In Russ.)

8. Abramovich N, Sergeeva A, Dolgaya A. Trends of drawings for digital printing on fabric. In: Materialy докладov 51-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov, posvyashchennoy Godu nauki: v dvukh tomakh, April 25, 2018. Vol. 2. Vitebsk. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskij universitet; 2018:59–62. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_36354085\\_82650887.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_36354085_82650887.pdf). (In Russ.)

9. Samutsina, N. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics. In: AIP Conference Proceedings : INTERNATIONAL CONFERENCE ON TEXTILE AND APPAREL INNOVATION (ICTAI 2021), 08–10 June 2021, Vol. 2430, Vitebsk. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022:020004. DOI 10.1063/5.0077193.

10. Jarek K, Mazurek G. Marketing and artificial intelligence. *Central European Business Review*. 2019;8(2): 46–56. DOI:10.18267/j.cebr.213.

**Сведения об авторах****Захарчук Никита Сергеевич**

Преподаватель-стажер кафедры дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: melopaque@gmail.com*

**Попковская Людмила Владимировна**

Доцент, доцент кафедры дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: designimoda@yandex.by*

**Information about the authors****Nikita S. Zakharchuk**

Trainee teacher at the Department of Design and Fashion, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: melopaque@gmail.com*

**Lyudmila Vl. Popkovskaya**

Associate professor, Associate Professor at the Department of Design and Fashion, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: designimoda@yandex.by*

Статья поступила в редакцию 25.11.2024.

# Значение цвета при создании анимационного образовательного контента

О. В. Петрухина

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А.Л. Штиглица», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Аннотация.** Исследование посвящено изучению влияния возможностей цвета на эффективность восприятия образовательных анимационных материалов. В работе анализируются, как различные цветовые решения воздействуют на когнитивные процессы зрителя, вызывая заинтересованность и формируя ассоциативные связи.

Актуальность работы обусловлена растущим использованием анимации в образовании и необходимостью оптимизировать ее воздействие на обучающихся.

Целью исследования ставится выявление механизмов влияния цвета на восприятие информации в анимационных образовательных и научно-популярных материалах и определение оптимальных цветовых решений для повышения эффективности обучения. Методы исследования: анализ конкретных примеров из анимационного образовательного контента, теоретический анализ литературы по цветоведению и психологии восприятия. На основе проведенного анализа автор систематизирует и предлагает рекомендации по использованию цвета в анимационных образовательных материалах для повышения их эффективности.

В заключении делаются выводы о возможностях, которые грамотное применение цвета позволяет использовать для работы с эмоциональной вовлеченностью зрителя, улучшая тем самым запоминание информации и повышая эффективность обучения. Полученные результаты могут быть использованы при создании образовательных анимационных материалов для различных возрастных групп.

*Ключевые слова:* анимация, образовательный контент, цвет, психология восприятия, цветоведение, обучение, визуализация.

## The Meaning of Color when Creating Animated Educational Content

Oksana V. Petrukhina

Stieglitz State Academy of Art and Industry of St. Petersburg,  
St. Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** The research is devoted to the study of the influence of color possibilities on the effectiveness of perception of educational animation materials. The paper analyzes how different color solutions affect the cognitive processes of the viewer, arousing interest and forming associative connections.

The relevance of the work is due to the growing use of animation in education and the need to optimize its impact on students.

The aim of the study is to identify the mechanisms by which the color influences the perception of information in animated educational and popular science materials and to determine the optimal color solutions to improve the effectiveness of learning. Research methods include the following: analysis of specific examples from animated educational content, theoretical analysis of literature on color science and psychology of perception. Based on the analysis, the author systematizes and offers recommendations on the use of color in animated educational materials to increase their effectiveness.

In conclusion, the possibilities of the competent use of color are examined to enhance the emotional involvement of the viewer, thereby improving the memorization of information and increasing the effectiveness of learning. The results obtained can be used to create educational animation materials for various age groups.

*Keywords: animation, educational content, color, psychology of perception, color science, learning, visualization.*

## **ВВЕДЕНИЕ**

Цвет – не просто визуальный элемент. Это мощный инструмент, способный влиять на эмоции и восприятие информации зрителем. В эпоху преобладающего и максимально насыщенного визуального контента, когда анимация становится все более популярным способом донесения информации, – особенно в образовательной сфере, – понимание роли цвета приобретает особую актуальность.

Целью исследования ставится изучение влияния цветовых решений на эффективность передачи информации в анимационных образовательных материалах. Задача исследования – раскрыть, как грамотное использование цвета может повысить эффективность обучающих анимационных материалов.

На основе анализа образовательных и популярных научных знаний фильмов и сериалов, вышедших на экраны с период с 70-х гг. XX в. – по н. в. рассматриваются психологические аспекты восприятия цвета, его влияние на зрителя и мотивации последнего к обучению по итогу знакомства с увлекательным анимационным контентом. Делается акцент на возможностях цвета в рамках развития когнитивных способностей (память, внимание, воображение, речь, логика, эмоциональный интеллект) младших школьников, в рамках знакомства последних с различного рода научными концепциями или явлениями культурологического характера в обучающих анимационных фильмах и сериалах.

## **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ. ЦВЕТ В АНИМАЦИИ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНСТРУМЕНТ МЕДИАКОММУНИКАЦИИ**

В современном информационном обществе анимация стала неотъемлемой частью нашей жизни. Она используется не только для развлечения, но для обучения и формирования мировоззрения. Именно в образовательной сфере в качестве обучающих материалов все чаще начинают использоваться продукты анимации [1, с. 18–31]. Согласно исследованиям А.В. Полянской, анимация – это не просто развлечение, а педагогический инструмент, который позволяет комплексно воздействовать на ребенка, развивая его когнитивные, эмоциональные и творческие способности [2, с. 21–28].

Анимация способна на многое:

1. Она преобразовывает абстрактные идеи в наглядные образы, делая их более понятными для зрителя.
2. Яркие персонажи и захватывающие сюжеты анимационного произведения вызывают у зрителя искренний интерес, что, в свою очередь, способствует лучшему запоминанию информации.

3. При этом интерактивные элементы и игровые механики, все чаще присутствующие в анимационном контенте, способны сделать процесс обучения еще более увлекательным и интересным.

Широкий спектр анимационных продуктов способствует формированию комплексной информационной среды, которая не только подготавливает зрителей-детей к будущим профессиональным задачам, но и обеспечивает индивидуальный подход в обучении, адаптируясь к уникальным потребностям каждого обучающегося [3, с. 65–70], помогая, кроме этого, в формировании «ценностей и интересов» человека [4, с.5].

Цвет, как один из ключевых элементов выразительного языка анимации, играет в этом процессе важнейшую роль. Рассмотрим, как продуманное использование цвета в анимационном произведении может влиять на восприятие информации и способствовать более глубокому усвоению учебного материала.

Цвет в анимации способен вызвать у зрителя физиологическую реакцию, оказать влияние на концентрацию, вступить в непосредственный диалог с подсознанием.

Исследуя влияние цвета на восприятие зрителя следует помнить о культурных и индивидуальных особенностях людей разных национальностей, различному отношению к символике цвета среди многочисленных народностей той или иной страны и контекстуальных ассоциациях.

В контексте создания анимационного образовательного контента важной особенностью цвета является его способность влиять на эмоции и настроение зрительской аудитории [5, с. 97]. Умелое обращение с цветовым инструментарием способствует:

1. Созданию атмосферы анимационного произведения. Например, теплые цвета создают ощущение тепла и уюта, в то время как холодные цвета – ощущение прохлады и спокойствия.
2. Выражению эмоций персонажей. Например, красный цвет может указывать на гнев или возбуждение, а синий – на грусть или печаль.
3. Управлению вниманием зрителя с целью создания определенного эмоционального отклика. Например, яркие цвета могут вызывать чувство радости и возбуждения, а приглушенные – чувство спокойствия и сосредоточенности.

Важную роль в использовании цвета играют возможности «цветовых контрастов» и «цветовой гармонии»

1. Цветовой контраст возникает при сопоставлении двух и более цветов, отличающихся друг от друга по ряду параметров. Стандартно принято

говорить о следующих видах цветовых контрастов: контраст по светлоте, теплостудности, контраст дополнительных цветов, цветовых сопоставлений, цветового распространения и цветовой насыщенности. Контрасты цвета в произведении привлекают внимание зрителя. Однако чрезмерное использование контрастных цветов может утомлять глаза и затруднять восприятие информации.

2. Цветовая гармония характеризуется единством цвета, которое приятно для восприятия зрителем. Признаками цветовой гармонии выступают связность цвета по каким-то параметрам (пр.: ахроматические или монохромные цвета), цветовая достаточность, баланс, соразмерность, гармоничные контрасты (по насыщенности, яркости и тональности). В образовательном контенте гармоничные цветовые сочетания могут помочь создать положительную атмосферу и улучшить восприятие информации.

Все вышеперечисленное успешно и эффективно применяется при создании анимационного образовательного контента, о чем пойдет речь в следующей части работы.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЦВЕТА В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ АНИМАЦИИ

Рассмотрим далее конкретные примеры анимационного образовательного контента.

Анимационные фильмы, благодаря своему уникальному воздействию на эмоции зрителя, становятся эффективным инструментом для популяризации исторических знаний. Это ярко прослеживается на примере множества советских и российских произведений. Рассмотрим здесь подробнее цикл из 5 работ «Легенды и мифы Древней Греции» (1969–1986 г.): «Возвращение с Олимпа» (1969 г.), «Аргонавты» (1971 г.), «Персей» (1973 г.), «Прометей» (1974 г.), «Геракл у Адмета» (1986 г.). Четыре работы из цикла («Возвращение с Олимпа», «Аргонавты», «Персей», «Прометей»), создала режиссер А. Снежко-Блоцкая. Эти анимационные работы отличаются насыщенной цветовой палитрой и контрастными тоновыми решениями. Они не только развлекают, но и выполняют важную образовательную функцию. Каждый эпизод, каждая сцена этих фильмов – это своеобразный визуальный рассказ, где цветовая гамма становится мощным средством выразительности, подчеркивая идею произведения и помогая зрителю глубже проникнуть в замысел автора.

Отдельного внимания заслуживает анимационный фильм Анатолия Петрова «Геракл у Адмета», созданный автором вручную без использования компьютерной графики. Работа А. Петрова отличается высокой степенью детализации и реалистичностью образов. Применение техники «фотографики» позволило достичь необычного эффекта свечения

персонажей. Каждый герой был отрисован на двух слоях целлулоида, что обеспечило глубину изображения и богатство цветовых переходов.

Цветовая палитра мультфильма насыщена и контрастна. Перед зрителем буквально оживают живописные полотна. Для каждого эпизода характерен свой набор тонов, что подчеркивает динамику сюжета и задает эмоциональный фон. Например, сцены, связанные с подземным царством, выполнены с использованием холодных оттенков красного, темно-синего и коричневого. Автор использует в этих сценах насыщенные по цвету и тону контрасты, которые усиливают у зрителя ощущение мрачности и таинственности в момент погружения героя в царство Аида вслед за душой Алкестиды (Алкесты). В то же время, эпизоды, происходящие на Олимпе, отличаются светлыми цветами, символизирующие красоту, энергию и силу.

*Французский анимационный сериал «Жила-была жизнь» (реж. Альберт Барилле, 1987 г.)* стал одним из пионеров в области образовательной анимации, предлагая детям увлекательное путешествие внутрь человеческого организма. Сериал – уникальный пример использования цвета в образовательных целях. Мультфильм, созданный для детей, в игровой форме рассказывает о сложных биологических процессах, происходящих в человеческом организме. При этом, каждый орган и явление наделяется определенным цветом, что позволяет зрителям на интуитивном уровне запомнить и ассоциировать цвета с конкретными функциями.

Сериал не только знакомит юных зрителей с анатомией и физиологией, но и использует цвет как мощный инструмент для визуализации сложных биологических процессов. Цветовые коды в мультфильме:

1. Бактерии стафилококки (голубой). Выбор цвета ассоциативно связан с патогенной функцией бактерий для организма. Холодный цвет вступает здесь в цветовой диссонанс с теплыми цветами и их оттенками (охра, коричневый и красный, зеленый и пр.), в которые окрашено большинство внутренних органов и положительный для организма человека элементов.

2. Липиды/жиры (охристо-желтый). Цвет ассоциативно связан с функцией этой группы веществ: запасы и последующее выделение энергии, сохранение тепла и т. д.

3. Сахар (светло-бежевый, розовый, желтый). Использование теплых, приятных цветов для изображения сахара подчеркивает его привлекательность и зависимость от него. Однако сочетание различных оттенков может также символизировать двойственную природу сахара: с одной стороны, он источник энергии, с другой – может привести к различным

заболеваниям.

4. Нейтрофилы (белый с желтой звездой). Белый цвет символизирует чистоту и защиту, что соответствует функции нейтрофилов как защитных клеток организма. Желтые звезды могут подчеркивать их активность и готовность к борьбе с инфекциями.

5. Черный цвет в сериале играет особую роль, визуализируя опасность и предупреждая о потенциальных угрозах для организма.

Цветовая кодировка органов и функций является одной из ключевых особенностей сериала. Каждый орган также наделен своим уникальным цветом, что помогает детям легко запомнить их названия и функции. Например, сердце традиционно ассоциируется с красным цветом, символизирующим жизнь и энергию, а мозг – с серым, подчеркивая его роль в обработке информации. Цветовое кодирование в сериале выполняет несколько важных функций: помогает запоминать информацию, упрощает ее восприятие, помогает с настройкой ассоциативных связей и способствует вовлеченности зрителя.

*Французский анимационный сериал «Жили-были первооткрыватели» (реж. Альбер Барийе, 1994–1995 гг.)* представляет собой запоминающийся образовательный инструмент, исторически точный и художественно выверенный. 26 серий по 30 минут каждая знакомят юных зрителей с выдающимися учеными прошлого – Архимедом, Леонардо да Винчи, Галилеем, Ньютоном, Фарадеем, Дарвином, Менделеем, Эдисоном, Пастером, Марией Кюри, Эйнштейном и др., – оживляя их открытия и изобретения, повлиявшие на ход истории.

Каждая серия – это не просто рассказ о научном достижении, но и визуальное путешествие, где цвет служит не только эстетическим элементом, но и мощным средством передачи смысла. Благодаря тщательно разработанной графике, сочетающей в себе лаконизм подачи, информационную насыщенность и тональную сдержанность с редкими цветовыми акцентами, авторам удалось создать выразительный и запоминающийся образ каждого ученого и его эпохи. Авторы сериала используют прием, совмещающий историческую точность в воссоздании места действия (архитектурные постройки, оформление интерьеров, природные ландшафты, выполненные в фотореалистичной манере) с доходчивой и емкой информационной графикой (даты, цифры, периоды и пр.), дополняя это нарочито-упрощенной и выразительно-шаржированной стилизацией главных действующих лиц динамического повествования (ученых и их окружения).

Сериал «Жили-были первооткрыватели» деликатно и очень точно использует возможности цвета и графики, акцентируя с их помощью необходимые

для повествования смыслы. Фильм является наглядным примером того, как превратить процесс обучения в увлекательное приключение. По мнению исследователей, этот подход (обучение через игру) позволяет не только передать знания о науке и истории, но и развить у детей творческое мышление, визуальную культуру и интерес к познанию окружающего мира [9, с. 689–693].

*Немецкий анимационный сериал «Спроси у Альберта» (реж. Д. Кремер, Ф. Киммельман, 1995–2003 гг.)* стал любимцем многих детей благодаря своему своеобразию, художественной выразительности и информационному наполнению.

Розовый путешественник Альберт, существо, не похожее ни на кого другого, приглашает зрителей в увлекательное приключение по нашей планете. Он – словно живой вопрос, который помогает нам лучше понять окружающий мир. Будучи то птицей, то рыбой, Альберт исследует самые разные уголки Земли, от высоких горных вершин до глубоких океанских впадин. Вместе с ним маленькие зрители сериала узнают о круговороте воды, о том, почему дует ветер и идет дождь, почему важно беречь природу и многое другое. Альберт – это не просто яркий и невероятно обаятельный персонаж мультфильма, это настоящий проводник в мир знаний, который делает обучение увлекательным и доступным для каждого.

«Круговорот воды в природе» (1995 г.), «Вода и погода» (1995 г.), «Чем важны птицы» (1995 г.), «Дерево – это не просто дерево» (1995 г.), «Воздух – везде» (1997 г.), «Тропические леса могут царствовать вечно» (1997 г.), «Океан – сохраните волны» (1997 г.), «Мусор и отходы как бумеранг» (1997 г.), «Рождение Земли» (2003 г.), «Жизнь завоевывает землю» (2003 г.), «Почему вымерли динозавры?» (2003 г.), «Дотянуться до звёзд» (2002 г.) – лишь небольшой перечень тем, которые затрагиваются в сериале.

За каждым эпизодом стоит продуманная концепция, сочетающая в себе четкий и интригующий сюжет и тщательно выверенную графику (стилизованные и выразительные образы персонажей, яркая палитра, тщательно и детально прорисованное окружение). В сериале используются открытые цвета и контрастные тональные сочетания. Контрасты помогают зрителям удерживать внимание на материале, выделяют ключевые моменты, облегчают запоминание информации детьми, повышая их уровень вовлеченности в процесс просмотра.

*Полнометражный анимационный фильм студии Disney «Геркулес» (реж. Д. Маскер, Р. Клементс, 1997 г.)* представляет собой яркий пример синтеза исторической достоверности, который достигается за счет внимания создателей анимационного филь-

ма к деталям и художественной выразительности. Воссоздавая древнегреческую мифологию, авторы фильма апеллируют к визуальной культуре античности, детально прорабатывая элементы архитектуры, скульптуры, фрагменты окружающей среды. Компьютерная анимация, особенно впечатляющая в сцене битвы с Гидрой, в сочетании с динамичным сюжетом и насыщенной цветовой палитрой (преобладающими являются яркие открытые карминовые, фиолетовые, желтые и синие оттенки) позволяет маленькому зрителю погрузиться в атмосферу повествования. Такой подход не только облегчает восприятие исторического материала детьми, но и способствует формированию у юной аудитории целостного интереса к культуре прошлого.

*Анимационный фильм «Принц Египта» студии DreamWorks (реж. Б. Чепмен, С. Уэллс, С. Хикнер, 1998 г.), основанный на библейской истории о Моисее, заинтересовывает зрителей не только напряженным и увлекательным сюжетом, но и детально воссозданной и фильме атмосферой Древнего Египта, которая позволяет зрителю лучше понять его историю и культуру. Декорации фильма основываются на тщательном изучении древнеегипетского искусства. Более 934 фонов, созданных вручную, воспроизводят монументальные архитектурные сооружения, фрески и скульптуры.*

Особое внимание в фильме уделено цветовой палитре, одновременно сдержанной и насыщенной цветовыми и тональными контрастами, сложными цветовыми сочетаниями. Цветовая гамма фильма помогает выразительно характеризовать персонажей, создает атмосферу и помогает создателям фильма расставить композиционные акценты. Светлые пастельные и насыщенные оттенки бежевого, коричневого и желтого соседствуют с глубоким фиолетовым и насыщенным синим. Цвет помогает построить глубокую и реалистичную картину, выстроить пространство кадра, выделить и подчеркнуть особенности героев – протагонистов и антагонистов. Комбинация традиционной анимации с компьютерной графикой, которая позволила создать впечатляющие спецэффекты (дождь, ветер, огненный столб и пр.) без ущерба для художественной целостности, а также историческая достоверность (декорации, образы, сюжет) делают этот фильм ценным инструментом для обучения и воспитания.

Е. Н. Вафина, рассуждая о детской анимации, как об инновационной технологии творческого развития детей дошкольного возраста, пишет о том, что увлекательная форма рассказа усиливает эмоциональное воздействие анимационных произведений, которые «аккумулируют знания о мире и представления о взаимоотношениях» [6, с. 259].

*Анимационный сериал «Хотим все знать!» (реж.*

*Диего Самора, 2004 г.)* представляет собой яркий и доказательный пример подобного тезиса, показывая, как с помощью динамики и цвета можно эффективно передавать сложные научные понятия детям дошкольного и младшего школьного возраста. Сериал – продукт совместного производства трех стран: Германии, Франции и Великобритании, – стал своего рода экранизированной энциклопедией, где каждая серия, посвященная определенному природному явлению или научному факту, насыщена визуальными образами и смыслами. Центральный персонаж, Изобретатель, с помощью своих необычных экспериментов и разнообразных творений помогает детям понять сложные научные концепции.

Возможности цвета использованы авторами сериала тонко и не навязчиво – цвет помогает выделить наиболее значимых для серии персонажей или явления. При этом, каждая серия обладает собственной цветовой гаммой, соответствующей тематике и настроению в ней. Например, эпизод о воде выполнен в холодных голубых тонах; серия о вулканах изобилует теплыми оттенками красного и оранжевого; эпизод о космосе – используются холодные оттенки синего и фиолетового; рассказы о природе – теплые тона зеленого и желтого.

Исследования в области детской психологии подтверждают, что цвет оказывает значительное влияние на формирование мировоззрения ребенка. Цветовые ассоциации, которые формируются в раннем детстве, сохраняются на протяжении всей жизни. Сериал «Хотим все знать!» доступно и деликатно доносит до детской аудитории сложные научные концепции. Такой подход способствует развитию у детей навыков визуального мышления, креативности и познавательного интереса к изучению нового.

*С сентября 2006 года начал выходить анимационный многосерийный фильм «Лунтик» (прод.: А. Боярский, С. Сельянов, А. Златопольский; реж.: А. Горбунов, В. Торопчин, А. Мальгин, Д. Шмидт и др.), созданный на студии «Мельница». «Лунтик» – обучающий и развивающий мультсериал, ориентированный на детскую аудиторию в возрасте 2–4 лет, который знакомит ребенка с понятиями «дружба», «взаимовыручка» и «поддержка». Г. А. Стародубцева подчеркивает, что развивающий анимационный фильм должен стать катализатором для творческого развития ребенка, стимулируя его воображение, мышление и эмоциональный интеллект [7, с. 431–437].* Материал каждой серии многосерийного фильма «Лунтик» создан для того, чтобы расширить внутренний мир своего маленького зрителя и обогатить его новыми знаниями.

Цветовая палитра сериала «Лунтик» играет ключевую роль в создании целостного повествования и формировании характеров персона-

жей. Яркие, насыщенные цвета и тщательно проработанные визуальные образы способствуют погружению маленького зрителя в мир мультфильма и облегчают восприятие информации. Главный герой, – Лунтик, – в окраске которого используется фиолетовый цвет, символизирует собой стремление к познанию. Это положительный, спокойный, мудрый и доброжелательный персонаж, испытывающий постоянное желание делиться своими открытиями с друзьями. Для выявления характера и черт подруги Лунтика, Луны, авторы сериала используют желтый цвет, который подчеркивает ее жизнерадостность, оптимизм, любознательность, энергию, интеллект и творческий потенциал. Взаимодействие этих основных взаимодополняющих цветов создает гармоничный дуэт и отражает глубокую дружбу персонажей.

Окружающие Лунтика обитатели леса также обладают индивидуальными цветовыми характеристиками, которые соответствуют их природным качествам и ролям в сюжете. Например, персонажи, олицетворяющие мудрость и опыт, часто изображены в теплых, земляных тонах, а более активные и энергичные герои – в ярких, контрастных цветах. Стаффажные элементы фильма выполняют не только эстетическую функцию, но и способствуют расширению кругозора юных зрителей. Детально прорисованные луга, леса и водоемы знакомят детей с разнообразием природы, ее сезонными изменениями и взаимосвязями между живыми организмами. Баланс между реалистичностью и стилизацией, тщательно продуманная цветовая палитра сериала позволяет создать увлекательный и познавательный визуальный ряд. Использование ярких, насыщенных цветов в сочетании с мягкими переходами и плавными линиями делает анимационный фильм привлекательным для детей и одновременно способствует развитию их эстетического вкуса.

Таким образом, цветовое решение в анимационном сериале «Лунтик» является не просто декоративным элементом, а мощным инструментом для передачи смыслов, создания атмосферы и формирования у своих зрителей определенных ассоциаций. Как отмечают исследователи Е. Г. Епифанова и В. П. Васильева цветовые предпочтения индивидов обусловлены как физиологическими особенностями, так и культурными факторами [8, с. 153]. В контексте анимационного кино, цвет становится средством выражения идей и мировоззренческих установок авторов, оказывая существенное влияние на восприятие зрителя [9, с. 258].

*Российский профориентационный сериал «Навигатум: Калейдоскоп Профессий» (созд. ООО «Кинокомпания «Парамульт», 2015 г.) предлагает новый подход к образовательному кон-*

тенту для детей, сделав ставку на превращение процесса изучения профессий в приключение. Следуя за братьями Дмитрием и Алексеем Дотошкиными, юные зрители открывают для себя мир профессий (архитектор, повар, электрик и т. д.), развивая при этом свои познавательные способности и эмоциональный интеллект. На данный момент создана 71 серия фильма. Каждая из серий посвящена раскрытию одной темы-профессии, среди которых можно встретить как достаточно популярные, так и весьма экзотические: блогер, ГМО-агроном, игромастер, ИТ-проповедник, консультант по здоровой старости, копирайтер, кузнец-штамповщик, нанотехнолог, президент, проектировщик детских роботов, сити-фермер, стартапер, тендер-менеджер, управленец детским R&D, энергоаудитор и пр.

Сериал, отличительными визуальными особенностями которого являются нарочитая минималистичная простота в передаче образных характеристик персонажей и локаций (образы героев того или иного сюжета, локаций, окружающего пространства и его деталей), открытые и чистые цветовые сочетания (сближенные цвета, контрастирующие друг с другом по тону), с одновременно насыщенной информационной составляющей, эффективно сочетает в себе развлекательную и образовательную функции. Подход призван способствовать получению детьми нужной информации без отвлечения на второстепенные детали и формированию у них устойчивого интереса к различным сферам деятельности. Цвет, в данном случае, служит деликатным проводником, помогая раскрыть смысл и важность каждой профессии, но не отвлекая зрителей на второстепенные детали.

*Французский анимационно-документальный сериал «Мифы Древней Греции» (реж. С. Берджер, С. Далбера, Н.Амселлем и др., 2014–2021 гг.) представляет собой уникальное сочетание историзма и художественной выразительности. Сериал детально воссоздает подлинные произведения искусства, скульптуры, фрески и бытовые предметы древнегреческой культуры.*

Сериал продолжался в течении трех сезонов. Каждая из двадцати 26-минутных серий представляет собой визуально насыщенное повествование, построенное на основе тщательно подобранных изображений и рисунков. Сериал характеризует минималистичная цветовая палитра, сдержанность оттенков и отсутствие объемных эффектов. Используемые художниками средства усиливают выразительность образов и создают ощущение аутентичности. Сдержанная и детально выверенная гамма, состоящая из ограниченного числа цветов, позволяет сосредоточить внимание зрителя на деталях изображения и способствует более глубокому

погружению в мир древнегреческих мифов. Единая цветовая концепция всех серий сериала способствует формированию целостного восприятия и облегчает понимание зрителями сложных исторических и мифологических сюжетов.

Отличительными особенностями сериала выступают:

- историческая точность, которая находит отражение в детальной реконструкции древнегреческих произведений искусства и быта;
- художественная выразительность, подчеркнутая минималистичной и ограниченной цветовой палитрой, позволившей проявить детали и подчеркнуть атмосферу аутентичности;
- визуальная целостность повествования, проявившаяся в единой цветовой концепции.

Проанализированные в работе примеры доказывают, что анимационные фильмы, несомненно, представляют собой эффективный инструмент в современном образовании, а их способность сочетать в себе динамику, визуальную привлекательность и информационную содержательность делает их незаменимыми при передаче учебного материала [10, с. 288–295].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая исследование, можно сделать выводы о том, что одной из ключевых особенностей анимации является ее способность визуализировать абстрактные понятия и сложные процессы, что значительно облегчает восприятие информации обучающимися. Разнообразие анимационных техник позволяет создавать интерактивные и динамичные учебные материалы, которые не только информируют, но и вовлекают зрителя в активный процесс обучения.

Анимационные фильмы обладают несомненным потенциалом в качестве инструмента эффективного донесения информации. Они способствуют:

1. Повышению мотивации. За счет своей визуальной привлекательности и интерактивности анимация вызывает у обучающихся интерес и желание глубже погрузиться в изучаемый материал.
2. Улучшению запоминания информации. Визуальные образы, создаваемые анимацией, лучше запоминаются, чем текстовая информация.
3. Развитию творческого мышления. Анимация стимулирует воображение и способствует развитию творческих способностей.
4. Развитие эрудиции и мировоззрения. Анимационные фильмы позволяют создать образное представление о сложных явлениях и процессах, способствуя формированию целостной картины мира.

Особую роль в анимации играет цвет, который помогает создателям контента вызывать у зрителей определенную гамму эмоций и ассоциаций, подчеркнуть ключевые моменты, создать необходимые контрасты.

В анимационных образовательных и научно-популярных фильмах или сериалах цвет выполняет сразу несколько функций: упрощает сложные понятия; способствует запоминанию и построению ассоциативных связей; способствует эмоциональному вовлечению; помогает охарактеризовать персонажей и создать атмосферу; акцентирует внимание; помогает организовать пространство кадра.

Можно с уверенностью утверждать, что анимационный контент является значимым инструментом современного образования. Исследования в этой области позволяют глубже изучить механизмы воздействия анимации на процесс обучения и разработать новые методики ее использования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кривуля, Н. Г. Место анимации в образовательном процессе в условиях визуального поворота и четвертой технологической революции / Н. Г. Кривуля // *Инновации в образовании*. – 2023. – № 10. – С. 18–31. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54718477>.
2. Полянская, А. В. Генезис компьютерной визуализации учебной информации в педагогическом знании / А. В. Полянская // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Информатизация образования»*. – 2013. – № 1. – С. 21–28. <https://cyberleninka.ru/article/n/genezis-problemy-kompyuternoy-vizualizatsii-uchebnoy-informatsii-v-pedagogicheskom-znanii/viewer>.
3. Кырчикова, Д. А. Персональный веб-сайт учителя как современное дидактическое средство / Д. А. Кырчикова, Н. С. Смольникова // *Человек в мире культуры*. – 2013. – № 3. – С. 65–70. <https://cyberleninka.ru/article/n/personalnuy-web-sayt-uchitelya-kak-sovremennoe-didakticheskoe-sredstvo/viewer>.
4. Чельшева, И. В. Теория и история российского медиаобразования / И. В. Чельшева. – Москва : Директ-Медиа, 2013. – 231 с.
5. Гашина, В. И. Роль цветового решения в формировании образа мультипликационного персонажа / В. И. Гашина // *Вестник Тюменского государственного института культуры*. – 2019. – № 2(12). – С. 96–98. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44960993\\_94027230.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44960993_94027230.pdf).

6. Вафина, Е. Н. Детская мультипликация как инновационная технология творческого развития детей дошкольного возраста // Дошкольное образование в современном изменяющемся мире: теория и практика III Международная научно-практическая конференция: сборник статей / Под редакцией А. И. Улзытуевой. – Чита : Забайкальский государственный университет. – 2015. – С. 259-263. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_23387471\\_96181924.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_23387471_96181924.pdf).
7. Стародубцева, Г. А. Основные предпочтения детей дошкольного возраста в выборе мультипликационных фильмов / Г. А. Стародубцева // Человеческий фактор: Социальный психолог. – 2020. – № 1(39). – С. 443–449. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_42969621\\_52931497.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_42969621_52931497.pdf).
8. Блок, Б. Визуальное повествование. Создание визуальной структуры фильма, ТВ и цифровых медиа / Пер. с англ. Юлии Чиликовой; под ред. Виктора Монетова, Максима Казючица. – Москва : ГИТР, 2012. – 320 с.
9. Васильева, В. П. Советская мультипликация как исторический источник: историография и подходы к изучению // Актуальные проблемы исторических исследований: взгляд молодых ученых. Сборник материалов четвертой Всероссийской молодежной научной конференции. – Новосибирск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт истории Сибирского отделения Российской академии наук, 2015. – С. 254–260. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_25540230\\_82027413.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_25540230_82027413.pdf).
10. Петрухина, О. В. Цвет в российской и советской анимации как инструмент визуальной экспрессии: исследование возможностей / О. В. Петрухина // Цвет в пространственных искусствах и дизайне : Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 03 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А. Л. Штиглица, 2024. – С. 288–295. – DOI 10.54874/9785605245766.2024.04.35.
11. Шеметова, А. А. Музейная анимация в межкультурном образовательном пространстве Беларуси / А. А. Шеметова // Социальное знание в современном обществе: проблемы, закономерности, перспективы : материалы IV Международной научно-практической конференции, Минск, 09–10 ноября 2023 года. – Гомель : Редакция газеты «Гомельская праўда», 2023. – С. 207–210. – [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_65533765\\_42817208.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_65533765_42817208.pdf).

## REFERENCES

1. Krivulya NG. The place of animation in the educational process in the context of a visual turn and the fourth technological revolution. *Innovatsii v obrazovanii = Innovations in education*. 2023;10:18-31. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54718477>. (In Russ.).
2. Polyanskaya AV. Genesis of computer visualization of educational information in pedagogical knowledge. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya «Informatizatsiya obrazovaniya» = Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia, Informatization of Education series*. 2013;1:21-28. <https://cyberleninka.ru/article/n/genezis-problemy-kompyuternoy-vizualizatsii-uchebnoy-informatsii-v-pedagogicheskom-znanii/viewer>. (In Russ.).
3. Kirchikova DA., Smolnikova NS. Personal teacher's website as a modern didactic tool. *Chelovek v mire kul'tury = Man in the world of culture*. 2013;3:65-70. <https://cyberleninka.ru/article/n/personalnyi-web-sayt-uchitelya-kak-sovremennoe-didakticheskoe-sredstvo/viewer>. (In Russ.).
4. Chelysheva IV. Teoriya i istoriya rossiyskogo mediaobrazovaniya = Theory and history of Russian media education. Moscow : Direkt-Media; 2013:231. <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=221496>. (In Russ.)
5. Hashina VI. The role of the color scheme in the formation of the image of a cartoon character. *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo instituta kul'tury = Bulletin of the Tyumen State Institute of Culture*. 2019;2(12):96-98. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44960993\\_94027230.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44960993_94027230.pdf). (In Russ.).
6. Wafina EN. Children's animation as an innovative technology for the creative development of preschool children. In: *Doshkol'noe obrazovanie v sovremennom izmenyayushchemsya mire: teoriya i praktika III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konfereniya: sbornik statey*. – Chita: Zabaykal'skiy gosudarstvennyy universitet; 2015:259-263. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_23387471\\_96181924.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_23387471_96181924.pdf). (In Russ.).
7. Starodubtseva GA. The main preferences of preschool children in choosing animated films. *Chelovecheskiy faktor: Sotsial'nyy psikholog = The human factor: A social psychologist*. 2020;1(39):443-449. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_42969621\\_52931497.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_42969621_52931497.pdf).
8. Block B. Vizual'noe povestvovanie. Sozдание vizual'noy struktury fil'ma, TV i tsifrovyykh media = Visual storytelling. Creating the visual structure of film, TV and digital media / Translated from English Julia Chirikova; ed. Viktor Monetov, Maxim Kazyuchits. Moscow : GITR; 2012:320.

9. Vasilyeva VP. Soviet animation as a historical source: historiography and approaches to study. In: Aktual'nye problemy istoricheskikh issledovaniy: vzglyad molodykh uchenykh. Sbornik materialov chetvertoy Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii. Novosibirsk: Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie nauki Institut istorii Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk; 2015:254-260. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_25540230\\_82027413.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_25540230_82027413.pdf). (In Russ.).

10. Petrukhina OV. Color in Russian and Soviet animation as a tool of visual expression: a study of possibilities. In: Tsvet v prostranstvennykh iskusstvakh i dizayne : Materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, October 03, 2024, St. Petersburg. St. Petersburg: Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya im. A. L. Shtiglitsa; 2024:288-295. DOI 10.54874/9785605245766.2024.04.35. (In Russ.).

11. Shemetova AA. Museum animation in the intercultural educational space of Belarus. In: Sotsial'noe znanie v sovremennom obshchestve: problemy, zakonomernosti, perspektivy : materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, November 09-10, 2023, Minsk. Gomel: Redaktsiya gazety «Gomel'skaya prauda»; 2023:207-210. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_65533765\\_42817208.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_65533765_42817208.pdf). (In Russ.).

---

#### Сведения об авторах

##### **Петрухина Оксана Валерьевна**

Кандидат искусствоведения, доцент, заведующий кафедрой анимации и медиа-дизайна ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

*E-mail:* [oks.petrukhina@yandex.ru](mailto:oks.petrukhina@yandex.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5599-9064>

#### Information about the authors

##### **Oksana V. Petrukhina**

Ph.D. in Arts, Assoc. Prof., Head of the Department of Animation and Media Design, St. Petersburg State Stieglitz Academy of Art and Industry, St. Petersburg, Russian Federation

*E-mail:* [oks.petrukhina@yandex.ru](mailto:oks.petrukhina@yandex.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5599-9064>

Статья поступила в редакцию 03.12.2024.

Научное издание

## **Материалы и технологии**

Научный журнал

№ 2 (14), 2024

Дизайн обложки: *Абрамович Н. А.*  
Компьютерная верстка: *Григорьева Н. В.*  
Редактор: *Никифорова Р. А.*

---

Подписано в печать 26.02.2025. Гарнитура Times.  
Усл. печ. листов 11,1. Уч.-изд. листов 11,0. Формат 60x90 1/8. Тираж 40 экз. Заказ № 103.

---

Сайт журнала: <http://mat-tech.vstu.by>

Свёрстано и подготовлено к печати издательским сектором  
Витебского государственного технологического университета.  
210038, Республика Беларусь, г. Витебск, Московский пр-т, 72.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/172 от 12 февраля 2014 г.  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 3/1497 от 30 мая 2017 г.

Полиграфическое исполнение –  
Республиканское унитарное предприятие  
«Информационно-вычислительный центр  
Министерства финансов  
Республики Беларусь»  
220004, Республика Беларусь, г. Минск,  
ул. Кальварийская, 17  
ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 г.