



Витебский государственный
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

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

2025

ВЫПУСК / ISSUE
№ 2 (16)



МАШИНОСТРОЕНИЕ
И МАШИНОВЕДЕНИЕ

MACHINE BUILDING
AND ENGINEERING SCIENCE

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭСТЕТИКА
И ДИЗАЙН

TECHNICAL AESTHETICS
AND DESIGN

МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

MATERIALS AND TECHNOLOGIES

ВИТЕБСК

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



Витебский государственный
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Материалы и технологии

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 2 (16), 2025



Materials and Technologies

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 2 (16), 2025

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. E-mail журнала: 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

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 УВО «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., заведующая кафедрой декоративно-прикладного искусства и технической графики УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», 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
- Стрикелева Кристина Александровна к.иск., доцент, профессор кафедры теории и практики коммуникативного дизайна УО «Белорусская государственная академия искусств», 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
- Шифрин Александр Евгеньевич к.иск., доцент, декан факультета научной, довузовской подготовки и дополнительного образования УО «Белорусская государственная академия искусств», Республика Беларусь

Журнал включен Высшей аттестационной комиссией Республики Беларусь в перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований по технической отрасли науки (машиностроение и машиноведение) и искусствоведению (техническая эстетика и дизайн) решением коллегии ВАК от 28.05.2025 №7/5.

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.

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. Journal's email: 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

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), head of the Decorative and Applied Arts and Technical Graphics Department Vitebsk State University named after P.M.Masherov, the Republic of Belarus |
| Oksana V. Petrukhina | 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 |
| Strikeleva Kristina | Candidate of Sciences (Cand. Sc.) in Arts, associate professor, professor at the Department of Theory and Practice of Communication Design (The Belarusian State Academy of Arts) |
| Irina-Francisca V. Foortai-Proskurina | Dr. Sc. (Arts), Professor at the Cultural Studies and Arts Department, Pushkin State University of Leningrad, the Russian Federation |
| Shifrin Alexander | Candidate of Sciences (Cand. Sc.) in Arts, associate professor, Dean of the Faculty of Scientific, Pre-University Training and Additional Education (The Belarusian State Academy of Arts) |

The Journal is included by the Higher Attestation Commission of the Republic of Belarus in the list of scientific publications for publishing the results of dissertation research in the technical field of science (Machine Building and Machine Science) and art criticism (Technical Aesthetics and Design) by the decision of the Higher Attestation Commission board dated 28.05.2025 No. 7/5.

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

Метод исследования микроструктуры индукционно
наплавленных слоев карбидосталей на основе
применения металлографических реактивов
С. А. Климов, Ф. М. Носков, О. А. Масанский

9 Method for Studying the Microstructure of Induction
Deposited Layers of Carbide Steel Based on the Use
of Metallographic Reagents
Stepan A. Klimov, Fedor M. Noskov, Oleg A. Masansky

Управление плотностью мощности лазерного
излучения для элементного анализа покрытий
и тонких слоев металла
У. К. Щерба, К. Ф. Ермалицкая

16 Laser Power Density Control for Elementary Analysis
of Coatings and Thin Metal Layers
Ulyana K. Shcherba, Ksenia F. Ermalitskaya

Оценка величины интегральной температуры
катода технологических вакуумных дуговых
источников плазмы
И. А. Иванов, Э. В. Ковалевич

26 Assessment of the Integral Temperature of the Cathode
of Technological Vacuum Arc Plasma Sources
Igor A. Ivanou, Emma V. Kovalevich

Метод генерации управляющих программ
для швейных полуавтоматов с микропроцессорным
управлением на основе принципа референциальной
независимости
А. Э. Бувевич, Т. В. Бувевич

32 Method for Generating Control Programs for
Microprocessor-Controlled Sewing Semiautomatic
Machines Based on the Principle of Referential
Independence
Artur E. Buyevich, Tatsiana V. Buyevich

Техническая эстетика и дизайн

Technical Aesthetics and Design

Комплексный подход к проектированию интерьера
магазина льняных изделий «POLE KVETAK»
И. С. Гурко, Н. А. Абрамович, Д. А. Скидан

41 Comprehensive Approach to Designing the Interior of
Linen Products Store "POLE KVETAK"
Illia C. Gurko, Natalia A. Abramovich, Daria A. Skidan

Этнические мотивы в современной моде как диалог
между традиционным прошлым и будущим
Ш. М. Мехтиева, М. И. Алибекова

51 Ethnic Motifs in Modern Fashion as a Dialogue
between the Traditional Past and Future
Shafiga M. Mehtiyeva, Mariyat I. Alibekova

Машинная вышивка в производстве капсульных
коллекций одежды романтического стиля:
на примере бренда «ALEXANDER BOGDANOV»
Н. В. Иголкина

63 Machine Embroidery in the Production of Capsule
Collections of Romantic-Style Clothing: Using the
Example of ALEXANDER BOGDANOV Brand
Natalia V. Igoalkina

Разработка и внедрение анимированных баннеров
в банковской сфере: дизайн, технологии, восприятие
А. В. Попова, К. О. Литвинчук

71 Development and Implementation of Animated Banners
in Banking Sector: Design, Technology, Perception
Alexandra V. Popova, Kristina O. Litvinchuk

Метод исследования микроструктуры индукционно наплавленных слоев карбидосталей на основе применения металлографических реактивов

С. А. Климов, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Ф. М. Носков, высшего образования «Сибирский федеральный университет»
О. А. Масанский Российская Федерация, Красноярский край, г. Красноярск

Аннотация. Работа посвящена подбору составов металлографических реактивов для исследования структурных составляющих наплавленного слоя композиционного материала на основе порошковой быстрорежущей стали 10P6M5 с добавлением карбидов титана (*TiC*) и карбидов вольфрама (*WC*), полученного методом индукционной наплавки. Метод индукционной наплавки позволяет получить тонкие слои карбидостали на поверхности заготовки. Подбирая компоненты шихты, можно получить заданные свойства, такие как твердость, износостойкость. Для исследования металлографических реактивов был выбран образец с 10 процентным содержанием карбида вольфрама, полученный методом индукционной наплавки. В работе подобраны составы металлографических реактивов, определена технология обработки, в том числе время выдержки и температура реактивов. Результаты применения металлографических реактивов на образцах подтверждают металлографические исследования при помощи оптической микроскопии. Показано четыре металлографических реактива, каждый из которых направлен на выявление определенных фаз, которые по результатам исследований способны отделить карбидные фазы от твердого раствора. Различные по составу металлографические реактивы в течение разного времени обработки, способны разделить карбидные фазы по преобладающим в них металлам. Разделение происходит по градиенту цветов, при этом определенному цвету соответствует своя морфология карбидной фазы. В результате была доказана возможность применения металлографических реактивов для исследования карбидостали с ее специфическим распределением карбидов разной морфологии и состава.

Ключевые слова: индукционная наплавка, структура, быстрорежущая сталь, металлографические реактивы, карбидные фазы.

Method for Studying the Microstructure of Induction Deposited Layers of Carbide Steel Based on the Use of Metallographic Reagents

Stepan A. Klimov, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
Fedor M. Noskov, "Siberian Federal University", Krasnoyarsk, Russian Federation
Oleg A. Masansky

Abstract. The paper is devoted to selection of compositions of metallographic reagents for investigation of structural components of deposited layer of composite material on the basis of powder high-speed steel 10R6M5 with addition of titanium carbides (*TiC*) and tungsten carbides (*WC*), obtained by method of induction deposition. Method of induction surfacing makes it possible to obtain thin layers of carbide steel on billet surface. By selecting the components of the batch, it is possible to obtain the desired properties, such as hardness, wear resistance. For metallographic reagents, a sample with a 10 percent tungsten carbide content obtained by induction surfacing was selected. Compositions of metallographic reagents were selected in the work, the processing technology was determined, including the exposure time and temperature of the reagents. The results of using metallographic

reagents on samples confirm metallographic studies using optical microscopy. Four metallographic reagents are shown, each of which is aimed at identifying certain phases that, according to the results of research, are able to separate carbide phases from a solid solution. Metallographic reagents of different composition during different processing times are able to separate carbide phases by the metals prevailing in them. The separation takes place along a gradient of colors, while a certain color corresponds to its own morphology of the carbide phase. As a result, the possibility of using metallographic reagents for the study of carbide steel with its specific distribution of carbides of different morphology and composition was proved.

Keywords: induction surfacing, structure, high-speed steel, metallographic reagents, carbide phases.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время все острее встает вопрос разработки новых, как конструкционных, так и инструментальных материалов характеризующимися повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Актуальность этой задачи обусловлена исчерпанием возможности для совершенствования свойств известных материалов: износостойких и инструментальных сталей (в том числе быстрорежущих), твердых сплавов и т. д.

Одной из альтернатив новых материалов с перспективными свойствами являются карбидостали. Современные композиционные материалы на основе стали с добавками тугоплавких карбидов типа WC , TiC и др. Карбидостали перспективны для режущих инструментов и деталей, подвергающихся различным видам высокотемпературного износа [1].

Чаще всего карбидостали получают технологиями порошковой металлургии: спеканием прессонок исходных материалов, пропиткой сталью карбидного каркаса, горячим прессованием порошков, или горячей экструзией [1]. Это процессы состоят из большого числа достаточно сложных технологических операций, что сужает возможности широкого практического использования карбидосталей. Существуют и иные технологические решения, например, получение карбидосталей методом плазменной наплавки, однако при этой технологии существует опасность распыления компонентов плазменной струей, расход дорогостоящего газа и т. п. Главным фактором, сдерживающим широкое распространение карбидосталей, является технология их получения традиционными способами, требующая сложного оборудования и длительный технологический цикл производства.

Индукционная наплавка позволяет получать карбидостали различных составов с минимальным проплавлением металла – основы. Благодаря этому состав наплавляемой композиции сохраняется после наплавки практически в неизменном виде.

Основной структурной составляющей, обеспечивающей особые свойства карбидосталей является разнообразие карбидных фаз. В случае применения в качестве металла – основы быстрорежущей стали, состав карбидных композиций, формирую-

щихся в структуре становится особенно сложным, так как помимо карбидов, внесенных в состав карбидостали сама быстрорежущая сталь характеризуется наличием ряда карбидов в своей структуре [2].

Эти обстоятельства вынуждают обратить повышенное внимание к анализу карбидной составляющей наплавленных слоев, что с наибольшей эффективностью может быть обеспечено применением различных металлогрфических реактивов, предназначенных для выявления тех или иных карбидных фаз [3].

Известно, что карбидосталь содержит в структуре карбиды типа MC , M_6C преимущественно содержащие в себе вольфрам (W) и молибден (Mo). Представленные в структуре в виде угловатых карбидных включений, эвтектик. В меньшем количестве наблюдаются карбиды типа M_3C , $M_{23}C_6$ в составе, которых присутствуют хром (Cr) и ванадий (V) [4–5].

Таким образом, цель работы: исследовать возможность применения металлогрфических реактивов для выявления структурных составляющих карбидосталей, полученных методом индукционной наплавки.

Задачи работы:

1. Подобрать составы металлогрфических реактивов направленных на выделение различных карбидных фаз.
2. Применить подобранные составы на имеющихся образцах карбидостали полученных методом индукционной наплавки.
3. Исследовать микроструктуру после применения металлогрфических реактивов.

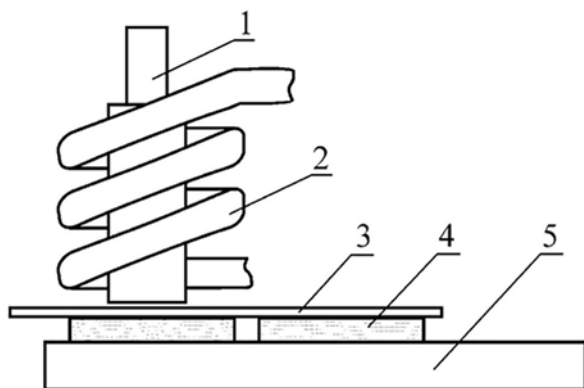
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для исследования возможности применения металлогрфических реактивов для карбидосталей был взят образец с 10 % содержанием карбида вольфрама (WC). Образец получен методом индукционной наплавки. Шихта состояла из 90 % порошковой стали 10P6M5 с добавлением 10 % порошка карбида вольфрама.

Важную роль при индукционной наплавке играет флюс, защищающий наплавляемый металл и поверхность стальной подложки от окисления кислородом воздуха. В качестве флюса использовалась

смесь натриятетраборноокислого безводного (буры), борной кислоты и добавок оксида кремния, магния, кальция и натрия. При подборе флюса учитывался фактор влияния магнитного поля, возникающего в зоне наплавки на шихту. Одной из проблем получения карбидостали на основе быстрорежущей стали является ферромагнетизм порошковой стали, которая на начальном этапе нагрева (до перехода в парамагнитное состояние) активно взаимодействует с магнитным полем. Для предотвращения перемещения порошковой шихты ее прессовали в брикеты. Кроме того, существенную роль играет флюс, выступая в определенном температурном диапазоне своеобразным «связующим» между частицами шихты – в тот момент, когда флюс уже расплавился, а нагретая металлическая часть шихты еще нет.

В качестве подложки для индукционной наплавки карбидостали была выбрана сталь 45. Наплавка пластин, схема которой представлена на рисунке 1, осуществлялась при помощи высокочастотной индукционной установки типа УВГ 2-25, с генератором ГНОМ-25М1 с мощностью до 20 кВт и рабочей частотой генератора от 44 кГц до 66 кГц. Использовался витковый индуктор с ферритным водоохлаждаемым сердечником.



1 – ферритный сердечник; 2 – витковый индуктор;
3 – асбестовая прокладка;
4 – наплавляемый брикет;
5 – металлическая подложка в форме пластины

1 – ferrite core; 2 – coil inductor; 3 – asbestos gasket;
4 – welded briquette;
5 – metal substrate in the form of a plate

Рисунок 1 – Схема индукционной наплавки

Figure 1 – Induction build-up diagram

После получения наплавленных слоев карбидостали на подложке, стал актуальным вопрос исследования микроструктуры образцов с помощью оптической микроскопии. Для понимания распре-

ления внесенных карбидов в шихту после наплавки, исследования границы наплавка-подложка на предмет взаимодействия и взаимного перемешивания во время наплавки и в процессе твердофазных превращений и т. д. В связи с этим в работе было использовано 4 состава металлографических реактивов, направленных на выявления структурных составляющих в особенности карбидных фаз, которые являются важнейшей частью карбидосталей. В таблице 1 приведен состав металлографических реактивов, использованных в эксперименте.

Таблица 1 – Составы металлографических реактивов

Table 1 – Metallographic reagent compositions

№	Компоненты металлографического реактива	Количество
1	– Азотная кислота, мл – Спирт, мл	4 96
2	– Красная кровяная соль, г – Калий гидроксид, г – Вода дистиллированная, мл	10 10 100
3	– Едкий натр, г – Вода дистиллированная, мл	10 100
4	– Азотная кислота, мл – Плавиковая кислота, мл – Вода дистиллированная, мл	5 5 90

В качестве универсального металлографического реактива для выявления структурных составляющих был выбран 4 % раствор азотной кислоты в спирте. Обработка в течение 1–2 минут при комнатной температуре, позволяет выявить структурные составляющие образца. Во время обработки, визуально можно наблюдать проявление структуры, тем самым контролируя степень травления.

Данный реактив следует применять на начальном этапе исследования, дабы выявить все структурные составляющие, размер и форму зерна, распределение карбидов и их морфологию. Пример травления данным реактивом представлен на рисунке 2.

На рисунке наблюдается распределение карбидных фаз, преимущественно белого цвета с различной морфологией. Так же равномерно по наплавленному слою распределена ледебуритная эвтектика скелетной морфологии. В свою очередь в твердом растворе отчетливо наблюдается мартенсит. Состав № 1 единственный из представленных металлографических реактивов взаимодействует и проявляет твердый раствор.

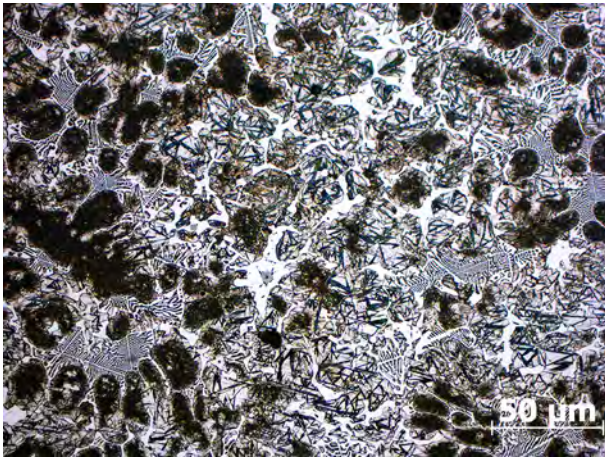


Рисунок 2 – Микроструктура ракарбидостали (90 % – Стали 10P6M5; 10 % – WC) после травления составом № 1

Figure 2 – Carbide steel microstructure (90 % – Steel 10R6M5; 10 % – WC) after etching with compound No. 1

Для выявления карбидов WC в литературе рекомендуют травление в водном растворе красной кровяной соли и едкого калия. Раствор в горячем виде в течение нескольких минут выделяет в структуре карбиды WC , M_6C . На рисунке 3 представлена микроструктура образца после 4 минут обработки составом № 2. Результат показал, что данным металлографический реактив направлен на выделения карбидных фаз.



Рисунок 3 – Микроструктура карбидостали проявленная травителем № 2 после 4 минуты обработки

Figure 3 – Carbide steel microstructure developed by etchant No. 2 after 4 minutes of treatment

На рисунке 3 наблюдаются не тронутые травлением зерна твердого раствора. Вокруг них отчетливо видна карбидная сетка. Также наблюдается цветное распределение карбидов, а именно выделение ряда карбидов одинаковой морфологии (Пластинчато-угловатые) по всему образцу ярко красным цветом. Данные карбиды в составе содержат преимущественно вольфрам.

Увеличивая время обработки травителем до 9 минут, мы видим выделение карбидов в большей степени. Результат оптического исследования показан на рисунке 4.



Рисунок 4 – Микроструктура карбидостали проявленная травителем № 2 после 9 минуты обработки

Figure 4 – Carbide steel microstructure developed by etchant No. 2 after 9 minutes of treatment

С увеличением времени обработки наблюдается проявление новых карбидных фаз, которые выделяются отдельными цветами. Помимо карбидов красного цвета наблюдается появление карбидов розового цвета с похожей морфологией. Но мы наблюдаем также появление карбидов с градиентом цветов от оливкового до ярко-зелёного. Карбиды зеленого цвета имеют иную морфологию в сравнение с красными карбидами. Менее пластинчатые и имеющие большую площадь. Предположительно карбиды, содержащие ванадий-хром. Отдельные карбиды имеют градиентные переходы цветов и вкрапление противоположного цвета. Например, карбиды с градиентом от желтого до ярко-зеленого цвета. Внутри которых могут присутствовать вкрапления красных и оранжевых карбидов с четкими границами. Все это говорит о том, что помимо карбидов с преобладанием в составе одного металла, например, вольфрама, мы наблюдаем карбиды сложных составов, в которых в равной степени могут содержаться, например,

вольфрам и хром. Ледебуритная эвтектика скелетной морфологии, также хорошо выделяется при помощи травителя № 2. С увеличением времени обработки твердый раствор также не поддается травлению, что дает преимущество для исследования карбидных фаз.

Применение водного раствора едкого натра в течение 5–10 минут помогает выделить карбиды цементитного типа Fe_3C . На рисунке 5 представлена микроструктура образца карбидостали после травления составом № 3. После 7 минут обработки наблюдается выделение карбидов типа M_6C , содержащих в себе вольфрам в виде отдельных карбидов черного цвета. При первоначальном исследовании черные включения напоминают дефекты в виде пор, но при более высоком увеличении видно, что черных включение не круглые. Их морфология схожа с карбидными включениями представленными на рисунке 2 в виде белых пятен. Так же по истечению 7 минут обработки отчетливо выделяется ледебуритная эвтектика скелетной морфологии. Черный цвет показывает содержание вольфрама как в отдельных карбидах, так и эвтектике.

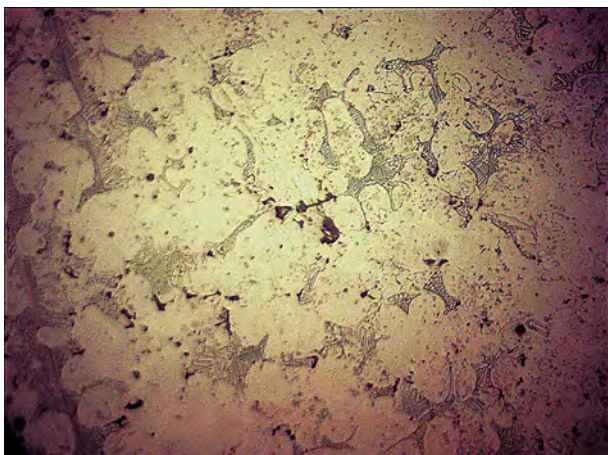


Рисунок 5 – Микроструктура карбидостали проявленная травителем № 3 после 7 минуты обработки

Figure 5 – Carbide steel microstructure developed by etchant No. 3 after 7 minutes of treatment

После 17 минут обработки наблюдается выделение карбидов типа MC содержащих в себе ванадий и окрашенных в белый цвет с четкой черной границей. Микроструктура карбидостали после 17 минут обработки составом № 3 представлена на рисунке 6. Данные включения равномерно распределены по образцу. Также сравнивая рисунки 5, 6 видно, что на рисунке 6 ледебуритная эвтектика не выделилась четко и имеет тусклые едва заметные границы. Это свидетельствует о том, что действительно травитель

при разном времени обработки выделяет различные карбиды фазы. Так как ледебуритная эвтектика не может содержать должного количества ванадия в своем составе, чтобы четко проявит границы при травлении.

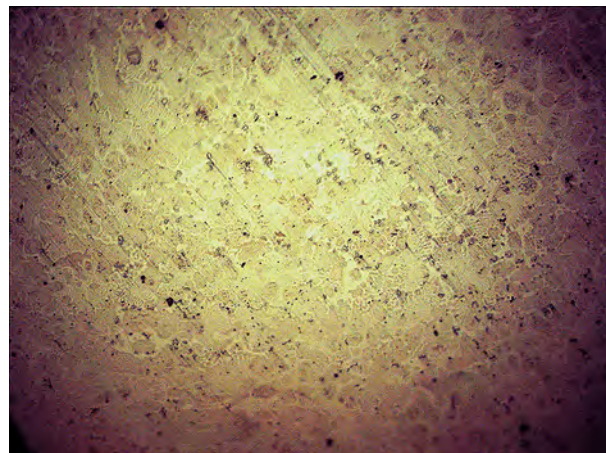


Рисунок 6 – Микроструктура карбидостали проявленная травителем № 3 после 17 минуты обработки

Figure 6 – Carbide steel microstructure developed by etchant No. 3 after 17 minutes of treatment

При увеличении времени обработки реактивом № 3 до 20 минут выявляются карбиды типа $M_{23}C_6$ содержащие в себе хром. При этом не происходит сильного травления твердого раствора и эвтектики, что позволяет четко наблюдать выделенные карбиды.

Смесь водного раствора плавиковой и азотной кислоты используют широко при травлении различных сплавов, также сварных швов из нержавеющей стали. Металлографический реактив № 4 используют в карбидосталих для выявления природы различных карбидов. Травление при комнатной температуре в течение 20 минут используют для выявления карбидов типа MC содержащих ванадий и вольфрам, а также отделить все карбидосодержащие фазы от твердого раствора [6]. Результат применения металлографического реактива № 4 на основе плавиковой и азотной кислоты представлен на рисунке 7.

Наблюдается четкое выделение всех карбидных фаз. Твердый раствор излишне вытравливается, обнажая границы карбидных фаз с разным составом и эвтектики. Также видно, что карбидные фазы распределены по интенсивности белого цвета, что говорит о разном содержании легирующих элементов в карбидных фазах. Самые интенсивно белые пятна на рисунке 7 содержат в составе большее количество вольфрама.

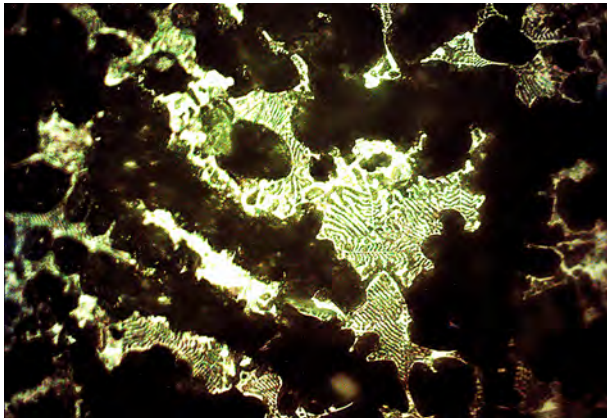


Рисунок 7 – Микроструктура карбидостали после травления составом № 4 в течение 20 минут

Figure 7 – Carbide steel microstructure after etching with compound No. 4 for 20 minutes

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практические эксперименты с указанными составами металлографических реактивов показали их высокую эффективность в выявлении соответствующих карбидных фаз. Таким образом, в работе показано, что применение специальных металлографических реактивов для выявления распределения, количества, формы выделений и других характеристик карбидных фаз карбидосталей полученных индукционной наплавкой позволяет эффективно исследовать структуру таких материалов, судить о процессах, происходящих как непосредственной при наплавке, так и в процессе твердофазных превращений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гнусов, С. Ф. Карбидостали на основе карбидов титана и вольфрама : научное издание / С. Н. Кульков, С. Ф. Гнусов. – Томск : Издательство научно-технической литературы, 2006. – 239 с.
2. Liu, Y. Precipitation Behaviors of Carbides in High Speed Steel during ESR and Heat Treatment [Electronic resource] / Y. Liu, J. Li, W. Liang, J. Gao, Y. Qi // *Metals*. – 2021. – 11(11). – 1781. Available from: <https://doi.org/10.3390/met11111781>. Accessed: 18 April 2025. DOI: 10.3390/MET11111781
3. Коваленко, В. С. Металлографические реактивы : справочник. 3-е изд. / В. С. Коваленко. – Москва : Металлургия, 1981. – 121 с.
4. Wang, Y. Advanced manufacturing of high-speed steels: A critical review of the process design, micro-structural evolution, and engineering performance / Y. Wang, B. Mao, S. Chu, S. Chen, H. Xing, H. Zhao, S. Wang, Y. Wang, J. Zhang, B. Sun // *Journal of Materials Research and Technology*. – 2023. – Vol. 24. – Pp. 8198–8240. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.04.269
5. Chen, Y. Effect of Alloying and Microalloying Elements on Carbides of High-Speed Steel: An Overview. [Electronic resource] / Y. Chen, C. Ye, X. Chen, Q. Zhai, H. Hu // *Metals*. – 2024. – 14 (2). – 175. Available from: <https://doi.org/10.3390/met14020175>. Accessed: 18 April 2025. DOI: 10.3390/met14020175
6. Иванов, С. Г. Методика пробоподготовки образцов высоколегированных сталей для автоматического анализа карбидной фазы / С. Г. Иванов, А. М. Гурьев, С. А. Земляков, М. А. Гурьев // *Ползуновский вестник*. – 2020. – №3. – С. 102–105. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.018
7. Rudnev, V. I. Induction Hardening: Technology, Process Design, and Computer Modeling / V. I. Rudnev and D. Loveless // *Comprehensive Materials Processing*. – 2014. – Vol. 12. – Pp. 489–580. DOI: 10.1016/B978-0-08-096532-1.01217-6
8. Боль, А. А. Индукционная наплавка, технология, материалы, оборудование / А. А. Боль, В. В. Иванайский, С. П. Лесков, В. П. Тимошенко. – Барнаул : Алтайское краевое научно-техническое общество машиностроителей, 1991. – 147с.
9. Mishra, A. S. Induction heating in sustainable technologies of production and processing of materials – A review of modern literature / A. Mishra, S. Bag, S. Pal // *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. – 2020. – Vol. 1. – Pp. 343–357. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11559-0
10. Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – Москва : Металлургия, 1975. – 584 с.

REFERENCES

1. Gnyusov SF. Karbidostali na osnove karbidov titana i vol'frama : nauchnoe izdanie = Carbido-stali based on titanium and tungsten carbides: scientific publication. Tomsk: Izdatel'stvo nauchno-tekhnicheskoy literatury; 2006:239. (In Russ.)
2. Liu Y, Li J, Liang W, Gao J, Qi Y, Shang

C. Precipitation Behaviors of Carbides in High Speed Steel during ESR and Heat Treatment. *Metals*. 2021;11(11):1781. DOI: 10.3390/met11111781. Available from: <https://doi.org/10.3390/met11111781> [Accessed 18 April 2025]. DOI: 10.3390/MET11111781

3. Kovalenko VS. Metallograficheskie reaktivy : spravochnik. 3-e izd. = Metallographic reagents: reference book. – 3rd ed. Moscow: Metallurgiya; 1981:121. (In Russ.)

4. Wang Y, Mao B, Chu S, Chen S, Xing H, Zhao H, Wang S, Wang Y, Zhang J, Sun B. Advanced manufacturing of high-speed steels: A critical review of the process design, micro-structural evolution, and engineering performance. *Journal of Materials Research and Technology*. 2023;(24):8198–8240. DOI: 10.1016/j.jmrt.2023.04.269

5. Chen Y, Ye C, Chen X, Zhai Q, Hu H. Effect of Alloying and Microalloying Elements on Carbides of High-Speed Steel: An Overview. *Metals*. 2024;14(2):175. Available from: <https://doi.org/10.3390/met14020175> [Accessed 18 April 2025]. DOI: 10.3390/met14020175

6. Ivanov SG, Guryev AM, Zemlyakov SA, Guryev MA. Procedure for Sample Preparation of

Samples of High-Alloy Steels for Automatic Analysis of the Carbide Phase. *Polzunovskiy Vestnik*. 2020;3: 102–105. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.018. (In Russ.)

7. Rudnev VI, Loveless D. Induction Hardening. *Comprehensive Materials Processing*. 2014;12:489–580. DOI: 10.1016/b978-0-08-096532-1.01217-6.

8. Bol' AA, Ivanaysky VV, Leskov SP, Timoshenko VP. Indukcionnaya naplavka, tekhnologiya, materialy, oborudovanie = Induction surfacing, technology, materials, equipment. Barnaul: Altayskoe kraevoe nauchno-tekhicheskoe obshchestvo mashinostroiteley; 1991:147. (In Russ.)

9. Mishra A, Bag S, Pal S. Induction heating in sustainable technologies of production and processing of materials - A review of modern literature. *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. 2020;1:343–357. DOI: 10.1016/B978-0-12-803581-8.11559-0

10. Geller Yu A. Instrumental'nye stali = Instrumental steels. Moscow: Metallurgiya; 1975:584. (In Russ.)

Сведения об авторах

Климов Степан Андреевич

Аспирант каф. МиТОМ, ассистент кафедры МиТОМ учреждения образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

E-mail: stepaklimov@yandex.ru

ORCID:

Носков Федор Михайлович

Доктор технических наук, доцент, профессор кафедры МиТОМ учреждения образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

E-mail: fnoskov@sfu-kras.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-3985-8947>

Масанский Олег Александрович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой МиТОМ учреждения образования «Сибирский федеральный университет», г. Красноярск, Российская Федерация

E-mail: omasansky@sfu-kras.ru

ORCID:

Information about the authors

Stepan A. Klimov

Graduate student of MiTOM Department, Assistant of MiTOM Department of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

E-mail: stepaklimov@yandex.ru

ORCID:

Fedor M. Noskov

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of MiTOM Department of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

E-mail: fnoskov@sfu-kras.ru

ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-3985-8947>

Oleg A. Masansky

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of MiTOM Department of Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

E-mail: omasansky@sfu-kras.ru

ORCID:

Статья поступила в редакцию 04.06.2025.

УДК 533.09.082, 533.922, 533.924, 535.243.2

Управление плотностью мощности лазерного излучения для элементного анализа покрытий и тонких слоев металла

У. К. Щерба,
К. Ф. Ермалицкая

Учреждение образования «Белорусский государственный
университет», г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия, основанная на эффективном испарении малого количества образца (10^{-10-11} г), атомизации и одновременном возбуждении эмиссионных спектров всех компонентов является очень популярным методом экспресс-анализа многокомпонентных сплавов, позволяя проводить исследование без предварительной химической и механической подготовки поверхности. В большинстве работ по данной тематике игнорируется процесс выбора спектральных линий элементов для расчетов, отдается предпочтение наиболее интенсивным линиям в исследуемом спектральном диапазоне. Однако, не редко возможна ситуация, когда у основного компонента (содержание которого может находиться в пределах 60–99 %), в рассматриваемом регионе присутствуют только резонансные линии, для которых свойственно самопоглощение, выражающееся в искажении контура линии и появлении «провала» на центральной длине волны. Снижение регистрируемой интенсивности резонансных линий, путем управления параметрами лазерного излучения зачастую приводит к падению до уровня фона интенсивности спектральных линии примесей, концентрация, которых менее 1 %. В качестве объекта исследования был выбран «максимально сложный объект» – тонкое покрытие легкоплавкого галлия на подложке из тугоплавкого вольфрама. Методика качественного анализа, позволяющая одновременно регистрировать резонансные линии галлия и «слабые линии» подложки вольфрама, заключалась в лазерной абляции поверхности образца сдвоенными лазерными импульсами (варьирование межимпульсного интервала дает возможность управлять процессами дополнительного возбуждения эмиссионных спектров в первичной плазме) и управления плотностью мощности путем расфокусировки лазерного луча относительно поверхности.

Ключевые слова: лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия, лазерная абляция, сдвоенные импульсы, самопоглощение, управление плотностью мощности.

Laser Power Density Control for Elementary Analysis of Coatings and Thin Metal Layers

Ulyana K. Shcherba,
Ksenia F. Ermalitskaya

Educational institution "Belarussian State University",
Minsk, Republic of Belarus

Abstract. Laser atomic emission spectroscopy, based on the efficient evaporation of a small sample amount (10^{-10-11} g), atomization, and simultaneous excitation of emission spectra of all components, is a highly popular method for rapid analysis of multicomponent alloys. It enables analysis without prior chemical or mechanical surface preparation. In most studies on this topic, the process of selecting spectral lines of elements for calculations is overlooked, with preference given to the most intense lines in the studied spectral range. However, a common scenario is that the main component (with a concentration ranging from 60–99 %) may only have resonance lines in the considered region, which are prone to self-absorption. This manifests as line contour distortion and the appearance of a "dip" at the central wavelength. Reducing the recorded intensity of resonance lines by adjusting laser radiation parameters often leads to a drop in the intensity of spectral lines from impurities (with concentrations below 1 %) to the background level. The study focused on a "maximally complex object" – a thin coating of low-melting

gallium on a refractory tungsten substrate. The qualitative analysis technique, enabling simultaneous detection of gallium's resonance lines and the "weak lines" of the tungsten substrate, involved laser ablation of the sample surface with double laser pulses (varying the interpulse interval allows control over additional excitation processes in the primary plasma) and power density adjustment through laser beam defocusing relative to the surface.

Keywords: laser induced breakdown spectroscopy, laser ablation, double laser pulses, direct microanalysis, self-absorption, technique for controlling the power density.

ВВЕДЕНИЕ

Лазерная атомно-эмиссионная спектроскопия – это методика сверхбыстрого элементного анализа вещества, основанная на явлении лазерной абляции. Лазерные лучи, сфокусированные в одну точку на поверхности образца, нагревают образец и инициируют образование плазмы. Детектор спектрометра (ПЗС-линейка) считывает излучение абляционной плазмы и передает на компьютер, который в свою очередь строит по этим данным так называемый спектр образца – график зависимости интенсивности света от его длины волны. Каждый химический элемент имеет свой характерный набор линий в спектре. Проведя анализ полученного в ходе лазерной абляции спектра возможно с большой точностью узнать элементарный состав образца, а также в каких пропорциях находятся составляющие образец вещества. [1]

Изначально было предложено использовать метод одноимпульсной лазерной абляции (SP-LIBS). В данном подходе предполагается одновременное испускание двух лазерных излучений из двухимпульсного лазера, при этом оптически лучи распространяются по одному пути и воздействуют на одну точку поверхности. Однако было обнаружено, что при малых концентрациях примесей и большом загрязнении поверхности образца интенсивности спектральных линий примесей находятся на уровне фона, и не могут быть зарегистрированы. Для получения более точных результатов был предложен метод двухимпульсной лазерной абляции (DP-LIBS), в котором между двумя лазерными импульсами можно задать микросекундный временной интервал, при этом вблизи поверхности еще сохраняется горячее парогазовое облако, состоящее из атомов и ионов исходного образца, таким образом энергия второго импульса расходуется преимущественно не на абляцию, а на дополнительное возбуждение абляционной плазмы. Регистрация эмиссионных спектров проводится через 1 мкс после завершения второго лазерного импульса, что соответствует времени, за которое плазма остывает от 1 000 000 К до 3000–7000 К – оптимальной температуры для регистрации эмиссионных спектров отдельных атомов. Было замечено, что при использованных сдвоенных лазерных импульсах интенсивности линий примесей значительно (до 10 раз в зависимости от массы и теплофизических параметров вещества) возрастают (рис. 1) [2].

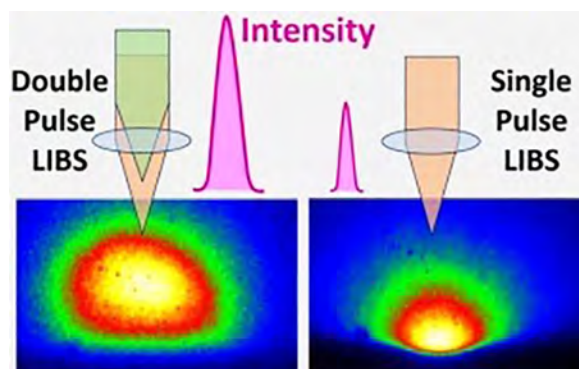


Рисунок 1 – Схематическое изображение процессов одноимпульсной SP-LIBS и двухимпульсной лазерной абляции DP-LIBS [2]

Figure 1 – Comparison of line intensities using SP-LIBS and DP-LIBS [2]

Возрастание интенсивности объясняется тем, что при использовании сдвоенных лазерных импульсов энергия второго лазерного импульса идет в основном на дополнительный нагрев плазмы, полученной при первом импульсе, и возбуждение уже присутствующих в плазме атомов компонентов образца. При этом суммарная энергия и мощность двух лазерных импульсов при одно- и двухимпульсной лазерной абляции одинаковы. Однако, помимо интенсивности возрастает и деструкция образца, но несущественно (от 1,2 до 1,7 раз при росте сигнала от 3 до 10 раз) [3].

При использовании DP-LIBS для получения необходимых результатов исследователь может изменять временной межимпульсный интервал, а также геометрию падения сдвоенных лазерных импульсов: коллинеарная, перекрестная, ортогональная с повторным нагревом, ортогональная с предварительной абляцией (рис. 2) [4].

В исследовании [5] авторы сравнили увеличение интенсивности линии серебра при использовании различной геометрии DP-LIBS (рис. 3). В работе использовался Nd:YAG лазер с диодной накачкой, длина волны 1064 нм, в качестве второго лазерного луча использовалась вторая гармоника Nd:YAG лазера с длиной волны 532 нм. Из [5] следует, что при использовании коллинеарной геометрии интенсив-

ность линии возросла в 6 раз (рис. 3 а), при использовании ортогональной геометрии с предварительной

абляцией интенсивность линии возрастает в 18 раз по сравнению с SP-LIBS (рис. 3 б).

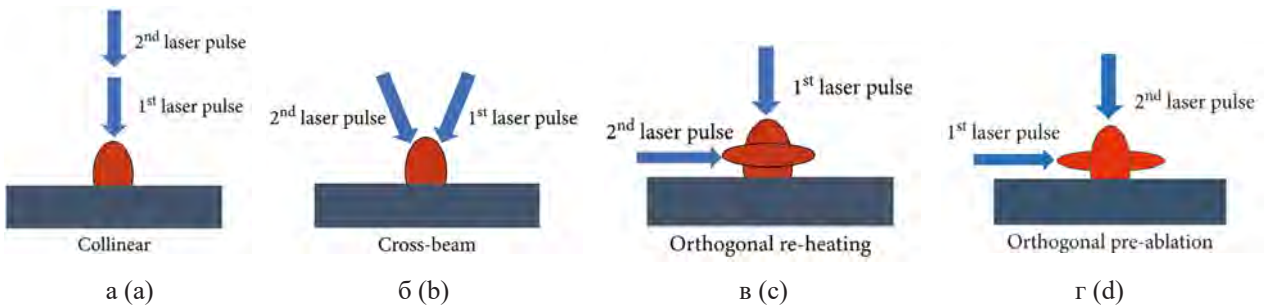


Рисунок 2 – Геометрия сдвоенных лазерных импульсов:
 а – коллинеарная; б – перекрестная; в – ортогональная с повторным нагревом;
 г – ортогональная, предварительной абляции [4]

Figure 2 – Geometry of double laser pulses:
 а – collinear; б – cross; с – orthogonal with repeated heating; д – orthogonal, pre-ablation [4]

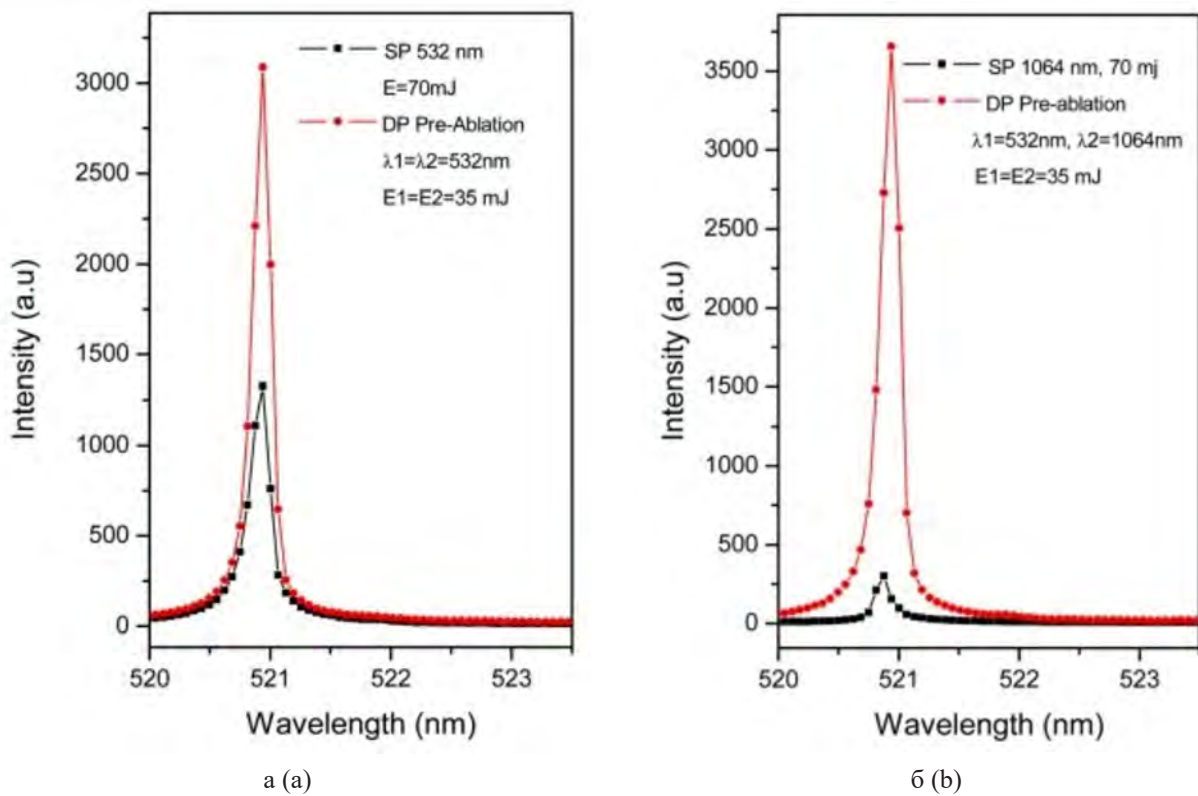


Рисунок 3 – Сравнение интенсивности линии серебра при одно- и двухимпульсной лазерной абляции:
 а – коллинеарная геометрия;
 б – ортогональная геометрия с предварительной абляцией сдвоенных лазерных импульсов [5]

Figure 3 – Comparison of the intensity of the silver line during single- and double-pulse laser ablation:
 а – collinear geometry; б – orthogonal geometry with pre-ablation of double laser pulses [5]

Из [5] можно сделать вывод, что интенсивность линии при ортогональной геометрии предварительной абляции увеличивается во много раз больше, чем при использовании коллинеарной геометрии. Однако осуществление ортогональной геометрии технически намного сложнее чем коллинеарной. Для увеличения интенсивности линии при стандартных измерениях достаточно будет усиления при коллинеарной геометрии.

Методика LIBS за счёт большого ряда преимуществ имеет широкое распространение в различных видах исследования: металлургия, археология, искусствоведение, медицина и так далее. Так, например, в [6] проводят исследование плазменной активности наночастиц меди, полученных с помощью LIBS из «чистых» и «грязных» образцов. Состав образцов из которых получены наночастицы проводился так же с использованием LIBS. Исследование [7] направлено на изучение влияния различных параметров лазерного сканирования образца на выполнение объемной лазерной абляции бронзового образца. В статье [8] представлено получение оксида

графена из кожуры банана, манго и мандарина с помощью лазерной абляции. Полученные наночастицы обладают люминесцентными, химическими и электрическими свойствами, позволяющими реализовать их в медицинских, биологических и оптоэлектронных устройствах. А в [9] предлагается новый подход к паллиативному лечению рака эндометрия у неоперабельных больных основанный на явлении лазерной абляции. В [10] исследователи проводят оценку толщины папины на археологических образцах 5–8 века н.э. найденных на территории Беларуси.

Цель нашего исследования – разработка методики проведения элементного анализа образцов с сильным влиянием самопоглощения. Объектом исследования была капля легкоплавкого галлия нанесенная на тугоплавкую вольфрамовую пластину.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Оборудование. Для осуществления лазерной абляции и получения спектра в нашей работе использовался ЛАЭМС спектрометр (рис. 4). Оптическая схема прибора – рисунок 5.



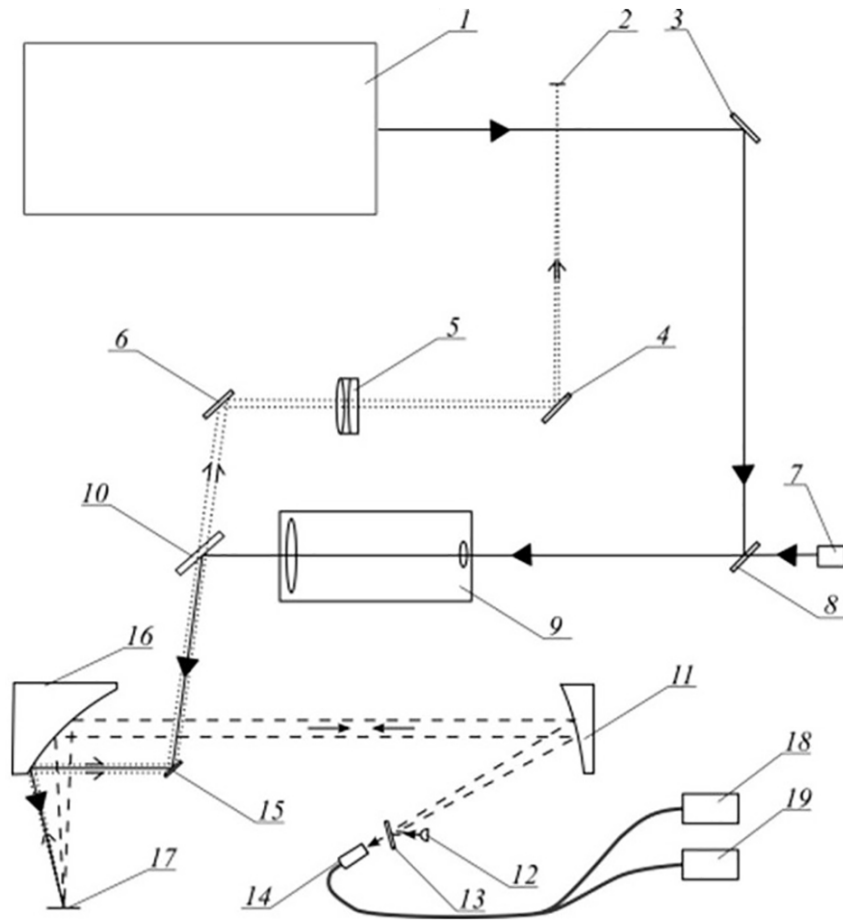
а (a)



б (b)

Рисунок 4 – Строение и внешний вид рабочей установки:
а – внешний вид спектрометра; б – внутреннее строение спектрометра

Figure 4 – Structure and appearance of the working installation:
а – appearance of the spectrometer; б – the internal structure of the spectrometer



- 1 – двухимпульсный лазер; 2 – видеокамера; 3, 4, 6, 15 – неселективные плоские зеркала;
 5 – изображающий объектив (наблюдательный канал); 7 – прицельный лазер;
 8 – селективное плоское зеркало; 9 – телескоп; 10 – полупрозрачное плоское зеркало;
 11 – параболическое зеркало (внеосевой угол 30°); 12 – светодиод подсветки;
 13 – плоское зеркало (нормально убрано, ставится при необходимости подсветки объекта);
 14 – вход оптоволоконна (к спектрометру); 16 – параболическое зеркало (внеосевой угол 90°); 17 – объект;
 18, 19 – спектрометры [11]

- 1 – two-pulse laser; 2 – video camera; 3, 4, 6, 15 – non-selective flat mirrors;
 5 – imaging lens (observation channel); 7 – aiming laser; 8 – selective flat mirror; 9 – telescope;
 10 – translucent flat mirror; 11 – parabolic mirror (off-axis angle of 30°); 12 – LED backlight;
 13 – flat mirror (normally removed, placed if necessary to illuminate the object);
 14 – fiber optic input (to the spectrometer); 16 – parabolic mirror (off-axis angle of 90°); 17 – object;
 18, 19 – spectrometers [11]

Рисунок 5 – Оптическая схема спектрометра

Figure 5 – Optical scheme of the spectrometer

Описание исследования. Объект исследования – капля галлия (размером 2×3 мм, нанесенная на тугоплавкую вольфрамовую подложку и под-

вергнутая воздействию низких температур (жидкого азота) для улучшения сцепления с подложкой) (рис. 6).



Рисунок 6 – Объект исследования: капля тугоплавкого галлия (размером 2×3 мм, нанесенная на тугоплавкую вольфрамовую подложку и подвергнутая воздействию низких температур (жидкого азота) для улучшения сцепления с подложкой)

Figure 6 – The object of the study: a drop of refractory gallium (2×3 mm in size, deposited on a refractory tungsten substrate and exposed to low temperatures (liquid nitrogen) to improve adhesion to the substrate)

Экспериментально была доказана возможность проведения прямого микроанализа легкоплавкого галлия в атмосфере воздуха при атмосферном давлении методом лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии. Однако, в рассматриваемом спектральном диапазоне, выбранном таким образом, чтобы была возможность одновременно зарегистрировать, как линии вольфрама, так и линии галлия, у последнего могут быть зарегистрированы только резонансные линии (рис. 7).

Наблюдаемый провал в центре спектральной линии высокой интенсивности связан с явлением самопоглощения – из-за значительной концентрации в образце, и как в следствии, в абляционной плазме основного компонента, испущенные фотоны, относящиеся к резонансным линиям (переходы с ближайших возбужденных уровней на основной) с большей вероятностью будут поглощены соседними атомами галлия в плазме, и не дадут вклад в регистрируемый спектрометром сигнал. Из-за самопоглощения невозможно определить реальную пиковую интенсивность линий галлия и, следовательно, провести элементный анализ.

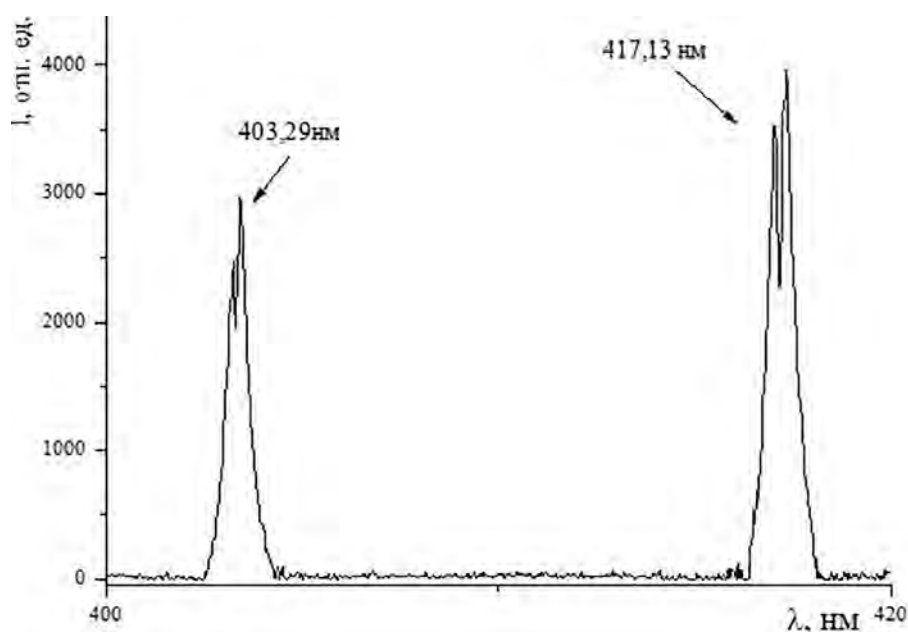


Рисунок 7 – Фрагмент спектр галлия при двухимпульсной лазерной абляции образца сфокусированным излучением

Figure 7 – Fragment of the spectrum of gallium during two-pulse laser ablation of a sample with focused radiation

Стандартные подходы (снижение энергии лазерных импульсов с 50 до 10 мДж) по снижению количества атомов галлия в плазме приводят к уменьшению содержания примесей и «третьих» элементов,

из-за чего спектральные линии последних снижаются до уровня фона. Нами предложен метод управления плотностью мощности лазерного излучения, который исключает полное исчезновение линий при-

месей в регистрируемых спектрах.

При стандартных процедуре лазерной абляции в рамках лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии лазерное излучение с помощью встроенной в спектрометр web-камеры фокусируется на поверхность. Диаметр пятна на образце при этом составляет порядка 100 мкм, что обеспечивает эффективную абляцию (из-за высокой плотности мощности практически отсутствует плавление металла, и на поверхности не формируется жидкая фаза), при этом атомы из твердого состояния напрямую переходят в плазму. При перемещении образца навстречу (отрицательная расфокусировка) или от (положительная) точки фокуса лазерного луча, за счет увели-

чения площади лазерного пятна на образце снижается плотность мощности, уменьшается и количество вещества попадающего в плазму, одновременно растет и площадь поперечного сечения плазмы, а плотность ее снижается. При этом падает и вероятность самопоглощения испущенного резонансного фотона атомами галлия, однако интенсивность спектральных линий вольфрама не снижается до уровня фона, так как при расфокусировке увеличивается площадь образца, с которой происходит испарение, а также снижается влияние основного компонента плазмы (галлия) на процесс поступления в парогазовое облако атомов вольфрама и их возбуждение (рис. 8).

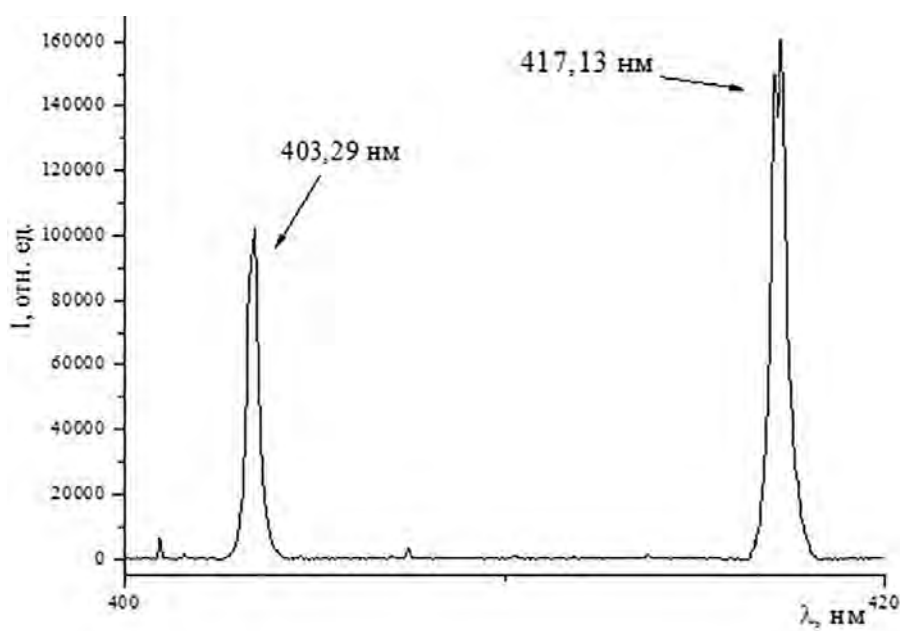


Рисунок 8 – Спектр капли галлия при расфокусировке 8 мм

Figure 8 – Spectrum of a gallium drop with 8 mm defocusing

Экспериментально были определены оптимальные параметры лазерного излучения для проведения элементного анализа – энергия лазерных импульсов, обеспечивающая максимальную интенсивность спектральных линий, составила 50 мДж, временной интервал между двумя сдвоенными лазерными импульсами – 10 мкс, соответствующий наибольшему сигналу, как для вольфрама, так и для галлия. Для выбора оптимального расстояния расфокусировки от точки фокуса лазерного луча до поверхности образца, был проведен ряд экспериментов, в которых анализировалась динамика интенсивности спектральных линий галлия и вольфрама при последовательной двухимпульсной лазерной абляции образца 70 сдво-

енными лазерными импульсами. Критерием выбора оптимального расстояния расфокусировки было превышение интенсивности спектральных линий обоих компонентов по крайней мере в 2 раза уровня фона при максимальном расстоянии. Экспериментально было определено, что такое расстояние составляет 8 мм от точки фокуса, при дальнейшем увеличении расстояние расфокусировки интенсивность спектральных линий вольфрама падает до уровня фона, что делает невозможным проведение элементного анализа. Нормированное на максимальную концентрацию (100 %, для галлия – это верхний слой, для вольфрама – слой, когда интенсивность галлия упала снизилась до уровня фона) приведена на рисунке 9.

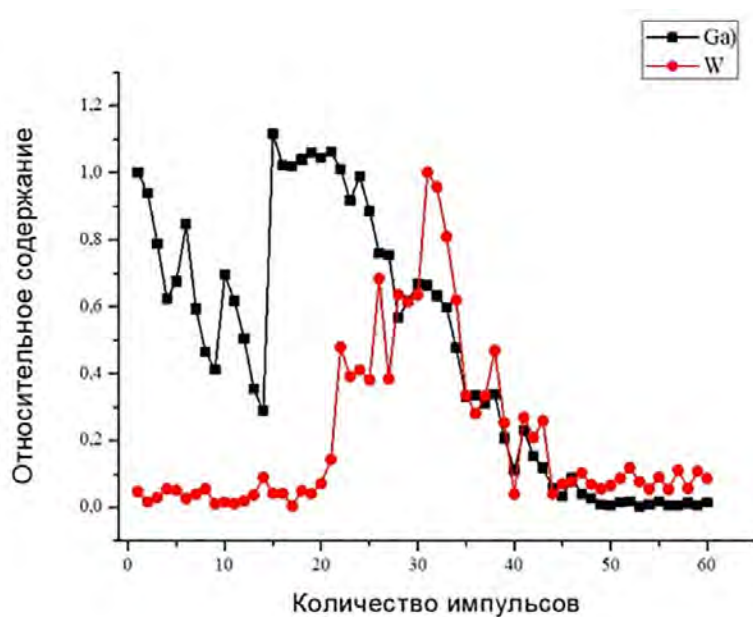


Рисунок 9 – Зависимость относительного содержания галлия и вольфрама от количества двояных лазерных импульсов произведенных в одну точку при расфокусировке 8 мм

Figure 9 – Dependence of the relative gallium and wolfram content on the number of double laser pulses produced at one point with 8 mm defocusing

Из рисунка 9 видно резкое возрастание относительного содержания галлия на 15 импульсе, что говорит о пробитии лазерным лучом загрязнений поверхности и прохождению к «чистому» галлию. Далее относительное содержание галлия на протяжении 10 импульсов остается постоянным и после 25 импульса начинает падать. Одновременно с этим начинает возрастать относительное содержание вольфрама. Падение относительного содержания галлия и рост вольфрама указывает на приближении лазерных лучей к вольфрамовой подложке. После 40 импульса значения относительного содержания обоих элементов выравнивается и выходит на постоянное значения, что говорит нам о том, что мы пробиты подложку образца.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была экспериментально доказана возможность проведения прямого микроанализа галлия в атмосфере воздуха при стандартном давлении. При проведении прямого микроанализа капли галлия, нанесенной на вольфрамовую подложку, были замечены провалы в центре сильных спектральных линий галлия. Наблюдаемые провалы связаны с явлением самопоглощения. Для его корректировки был предложен метод управления плотностью мощности. Замечено выпрямление спектральных линий галлия при положительной расфокусировке 8 мм. Исследованы зависимости относительных содержаний галлия и вольфрама от количества двояных лазерных импульсов, произведенных в одну точку при расфокусировке 8 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miziolek, AW Laser Induced Breakdown Spectroscopy / AW Miziolek, V Palleschi, I Schechter. – Cambridge: Cambridge University Press; 2006. – 620 p.
2. Rizwan, M. Double Pulse laser-induced breakdown spectroscopy (DP-LIBS): A Comprehensive technique Review [Electronic resource] / M. Rizwan, M.-S. Afgan, S. Saleem, K. Kou, Z. Hou, Z. Wang // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2025. – Vol. 227. – 107168. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107168>.

org/10.1016/j.sab.2025.107168. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1016/j.sab.2025.107168

3. Victor Ulises Lev Contreras Loera. Double-Pulse and Calibration-Free Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) on quantitative analysis. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Leon: Centro de Investigaciones en Óptica A. C. – 2013. – 116 p. <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/>

bitstream/1002/314/1/15622.pdf.

4. Diwakar, P.K. Role of laser pre-pulse wavelength and inter-pulse delay on signal enhancement in collinear double-pulse laser-induced breakdown spectroscopy / P. K. Diwakar, S. S. Harilal, J. R. Freeman, A. Hassanein // *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. – 2013. – Vol. 87. – Pp. 65–73. DOI: 10.1016/j.sab.2013.05.015

5. Rashid, B. A comparative study of single and double pulse of laser induced breakdown spectroscopy of silver [Electronic resource] / B. Rashid, R. Ahmed, R. Ali // *Physics of Plasma*. – 2011. – Vol. 18. – 073301. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.3599591>. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1063/1.3599591.

6. Pò, C. L. Pulsed Laser Ablation of Recycled Copper in Methanol: A new route toward sustainable plasmonic and catalytic nanostructures [Electronic resource] / C. L. Pò, S. Boscarino, S. Scalese, S. Boninelli, M. G. Grimaldi, F. Ruffino // *Applied Surface Science Advances*. – 2025. – Vol. 26. – 100712. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2025.100712>. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1016/j.apsadv.2025.100712.

7. Zahrani, E. G. Investigation of scanning strategies on performance of nanosecond and picosecond laser volume ablation of bronze [Electronic resource] / E. G. Zahrani, B. Azarhoushang // *Optics and Laser Technology*. – 2024. – Vol. 178. – 111226. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111226>. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1016/j.optlastec.2024.111226.

8. Carrillo, F. S. Study of properties of graphene oxide nanoparticles obtained by laser ablation from banana, mango, and tangerine peels [Electronic resource]

/ F. S. Carrillo, A.O. Díaz, O. Z. Moran, O. S. Sánchez, J. F. Méndez, J-A. G. Cervantes // *Nano Trends*. – 2025. – Vol. 9. – 100091. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2025.100091>. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1016/j.nwnano.2025.100091.

9. Lavie, M. Hysteroscopic endometrial laser ablation – A novel approach for palliative management of endometrial cancer in inoperable patients [Electronic resource] / M. Lavie, G. Rattan, D. Englander, S. Ram, N. Solomon, N. Michaan, D. Grisaru, I. Laskov // *Gynecologic Oncology Reports*. – 2025. – Vol. 58. – 101728. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.gore.2025.101728>. Accessed: 1 May 2025. DOI: 10.1016/j.gore.2025.101728.

10. Воропай, Е. С. Применение двухимпульсной лазерной атомно-эмиссионной спектроскопии в археологических исследованиях / Е. С. Воропай, К. Ф. Ермалицкая, А. В. Марковская, У. К. Щерба // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики, аэрокосмических технологий и физики конденсированного состояния : материалы VIII Международ. науч.-практ. конференции, 22–23 мая 2025 г. Минск. – Минск : «СтройМедиаПроект», 2025. – С. 136–138.

11. Воропай, Е. С. Лазерный атомно-эмиссионный спектрометр с ахроматической оптической системой / Е. С. Воропай, И. М. Гулис, Д. С. Тарасов, К. Ф. Ермалицкая, М. П. Самцов, А. Е. Радько, А. П. Загогин, К. А. Шевченко, А. А. Кирсанов // *Журнал прикладной спектроскопии*. 2021. – Том 88. – №3. – С. 485–492. <https://zhps.ejournal.by/jour/article/view/832/0>.

REFERENCES

1. Miziolek AW, Palleschi V, Schechter I. Laser Induced Breakdown Spectroscopy. Cambridge: Cambridge University Press; 2006:620.

2. Rizwan M, Afgan M-S, Saleem S, Kou K., Hou Z, Wang Z. Double Pulse laser-induced breakdown spectroscopy (DP-LIBS): A Comprehensive technique Review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2025;227:107168. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2025.107168> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.sab.2025.107168

3. Victor Ulises Lev Contreras Loera. Double-Pulse and Calibration-Free Laser-Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS) on quantitative analysis. A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. Leon: Centro de Investigaciones en Óptica A.C.; 2013:116. <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/314/1/15622.pdf>

4. Diwakar PK, Harilal SS, Freeman JR, Hassanein A. Role of laser pre-pulse wavelength and inter-pulse delay on signal enhancement in collinear double-pulse laser-induced breakdown spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2013;87:65–73. [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.sab.2013.05.015

5. Rashid B, Ahmed R, Ali R. A comparative study of single and double pulse of laser induced breakdown spectroscopy of silver. *Physics of Plasma*. 2011;18:073301. Available from: <https://doi.org/10.1063/1.3599591> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1063/1.3599591

6. Pò CL, Boscarino S, Scalese S, Boninelli S, Grimaldi MG, Ruffino F. Pulsed Laser Ablation of Recycled Copper in Methanol: A new route toward sustainable plasmonic and catalytic nanostructures. *Applied Surface Science Advances*. 2025;26:100712.

Available from: <https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2025.100712> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.apsadv.2025.100712

7. Zahrani EG, Azarhoushang B. Investigation of scanning strategies on performance of nanosecond and picosecond laser volume ablation of bronze. *Optics and Laser Technology*. 2024;178:111226. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2024.111226> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.optlastec.2024.111226

8. Carrillo FS, Díaz AO, Moran OZ, Sánchez OS, Méndez JF, Cervantes J-AG. Study of properties of graphene oxide nanoparticles obtained by laser ablation from banana, mango, and tangerine peels. *Nano Trends*. 2025;9:100091. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2025.100091> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.nwnano.2025.100091

9. Michael Lavie, Gilad Rattan, Dana Englander, Shai Ram, Neta Solomon, Nadav Michaan, Dan Grisaru, Ido Laskov. Hysteroscopic endometrial laser ablation – A novel approach for palliative management of endometrial cancer in inoperable patients. *Gynecologic Oncology Reports*. 2025;58:101728. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.gore.2025.101728> [Accessed 1 May 2025]. DOI: 10.1016/j.gore.2025.101728

10. Voropai ES, Ermalitskaya KF, Markovskaya AV, Shcherba UK. Application of double-pulse laser atomic emission spectroscopy in archaeological research. In: *Prikladnye problemy optiki, informatiki, radiofiziki, aerokosmicheskikh tekhnologiy i fiziki kondensirovannogo sostoyaniya : materialy VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii = Applied problems of optics, computer science, radiophysics, aerospace technologies and condensed matter physics: Proceedings of the VIII International scientific-practical conference, May 22-23, 2025, Minsk*. Minsk: «StroyMediaProekt»; 2025:136–138. (In Russ.)

11. Voropay ES, Gulis IM, Tarasov DS, Ermalitskaya KF, Samtsov MP, Rad'ko AE, Zazhogin AP, Shevchenko, KA, Kirsanov AA. Laser atomic emission spectrometer with an achromatic optical system. *Zhurnal prikladnoy spektroskopii = Journal of applied spectroscopy*. 2021;88(3):485–492. <https://zhps.ejournal.by/jour/article/view/832/0>. (In Russ.)

Сведения об авторах

Щерба Ульяна Константиновна

Студентка 4 курса кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета учреждения образования «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: ulshch04@gmail.com

Ермалицкая Ксения Федоровна

Доцент кафедры лазерной физики и спектроскопии физического факультета учреждения образования «Белорусский государственный университет», г. Минск, Республика Беларусь

E-mail: ermalitskaia@gmail.com

Information about the authors

Ulyana K. Shcherba

4th year student of the Department of Laser Physics and Spectroscopy of the Faculty of Physics at Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

E-mail: ulshch04@gmail.com

Ksenia F. Ermalitskaia

Cand. Sc. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Laser Physics and Spectroscopy, Faculty of Physics, Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

E-mail: ermalitskaia@gmail.com

Статья поступила в редакцию 27.05.2025.

Оценка величины интегральной температуры катода технологических вакуумных дуговых источников плазмы

¹Иванов И. А.,

²Ковалевич Э. В.

¹Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

²Государственное учреждение «Белорусский институт системного анализа и информационного анализа научно-технической сферы»,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. Изготовление катода-мишени, подбор его химического состава, и установление оптимальной температуры нагрева для минимизации образования капельной фазы, являются важными условиями для получения покрытия с заданными свойствами.

В статье исследуется тепловой режим работы расходуемого водоохлаждаемого катода-мишени, изготовленного из различных материалов (*Al, Cu, Сталь 45, Ni, Ti, Mo*), вакуумных электродуговых источников плазмы. Кроме того, необходимо установить оптимальную температуру нагрева катода-мишени и предотвратить его от перегрева тем самым минимизировать образование капельной фазы. Проведен анализ температуры нагрева катода-мишени. Представлены рассчитанные значения критерия Био для подтверждения гипотезы равномерности распределения температуры по толщине катода.

Выбор оптимального состава катода-мишени и установление температуры его нагрева, позволят получить покрытие с заданными свойствами, при этом образование капельной фазы будет минимальным. Такие покрытия могут в дальнейшем использоваться как в изделиях медицинского назначения, так и промышленного назначения.

Ключевые слова: катод, источник плазмы, вакуумная дуга, капельная фаза, теплопередача, дуговой разряд, поверхность, эродирующая поверхность катода.

Assessment of the Integral Temperature of the Cathode of Technological Vacuum Arc Plasma Sources

¹Igor A. Ivanou,

²Emma V. Kovalevich

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

²Belarusian Institute of System Analysis and Information Support
of Scientific and Technical Sphere, Minsk, Republic of Belarus

Abstract. The fabrication of the target cathode, the selection of its chemical composition, and the establishment of the optimal heating temperature to minimize the formation of the droplet phase are important conditions for obtaining a coating with the desired properties.

This article examines the thermal operating conditions of a consumable water-cooled target cathode made of various materials (*Al, Cu, Steel 45, Ni, Ti, Mo*) in vacuum arc plasma sources. Furthermore, it is necessary to establish the optimal heating temperature of the target cathode and prevent it from overheating, thereby minimizing the formation of the droplet phase. The heating temperature of the target cathode is analyzed. Calculated values of the Biot criterion are presented to confirm the hypothesis of uniform temperature distribution across the cathode thickness.

Selecting the optimal target cathode composition and establishing its heating temperature will enable the production of a coating with the desired properties while minimizing the formation of the droplet phase. Such coatings can be used in both medical and industrial applications.

Keywords: cathode, plasma source, vacuum arc, droplet phase, heat transfer, arc discharge, surface, eroding surface of the cathode.

ВВЕДЕНИЕ

Вакуумная ионно-плазменная обработка изделий с формированием на их поверхности защитных слоев широко используется для придания поверхности из этих материалов специальных свойств. В зависимости от состава катода-мишени, полученное покрытие позволит обеспечить материалу более высокие эксплуатационные характеристики. Перспективным направлением является получение катодов-мишеней из сложнелегированных сплавов для ионно-плазменных испарительных систем. Получение качественного покрытия зависит от выбранного состава катода-мишени и его геометрии, при этом выбор состава и расчет режима водоохлаждаемого катода-мишени является ключевым фактором для получения качественных покрытий.

Объектом исследования является катод-мишень, изготовленный из различных материалов (Al, Cu, Сталь 45, Ni, Ti, Mo). Состав катода-мишени влияет на свойства покрытия. Так, например, медь обладает высокой коррозионной стойкостью, Сталь 45 – твердостью и долговечностью, никель – высокой коррозионной стойкостью и температурной устойчивостью, титан – высокой прочностью при низкой плотности, коррозионной стойкостью и особенностью образовывать твердые и долговечные покрытия.

Предметом исследования является тепловой режим работы расходоемого водоохлаждаемого катода-мишени, изготовленного из различных материалов (Al, Cu, Сталь 45, Ni, Ti, Mo), вакуумных электродуговых источников плазмы.

Цель исследования – анализ теплового режима расходоемого водоохлаждаемого катода-мишени вакуумных электродуговых источников плазмы и определение оптимальных режимов его работы. Установить оптимальную температуру нагрева катода-мишени и предотвратить от перегрева тем самым минимизировать образование капельной фазы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Вакуумные дуговые источники плазмы постоянного тока характеризуются высокой скоростью нанесения покрытий, простотой управления и сравнительно низкой стоимостью оборудования [1]. Рабочий ток непрерывного вакуумного дугового разряда составляет от 40 до 150 А. Нижний предел диапазона тока дуги определяется самопроизвольным гашением дугового разряда, тогда как верхний предел определяется необходимостью охлаждения поверхности эрозии катода-мишени. В принципе, конструкция дугового испарителя допускает работу с током дуги намного выше 150 А. Это приводит к

пропорционально более высокому производству плазмы и, соответственно, скорости осаждения, но вызывает проблемы с охлаждением катодного узла источника плазмы и подложки, увеличением стоимости источника питания и повышением содержания в покрытиях микрочастиц, состоящих из катодного материала.

Так как процесс горения дуги протекает в вакууме при давлении порядка 10^{-2} Па и ниже, то для поддержания процесса горения дуги в окружающей катод газовой среде недостаточно материала. Дуга горит в парах материала катода, которые образуются при эрозионном испарении катода в быстро и хаотично перемещающихся катодных пятнах вакуумной дуги. Размер катодных пятен составляет 10^{-6} м. За счет малой площади пятен концентрация тока в них достигает 10^9 А/см² [2]. Происходит быстрый нагрев микрообъема поверхностного слоя катода (по оценкам [3], температура в зоне катодного пятна достигает 10^4 К), который испаряется в доли секунды с последующей ионизацией паров материала катода. Процесс сопровождается образованием большого количества капельной фазы, присутствие которой в покрытии не всегда желательно.

Количество капельной фазы в составе плазменного потока зависит от температуры поверхности катода, которая определяется величиной тока дугового разряда, геометрией катода-мишени и эффективностью отвода тепла от эродирующей поверхности катода. В [4] на примере катодов из титана марки ВТ-1 показано, что увеличение длины цилиндрического катода от 15 до 50 мм сопровождается увеличением температуры его поверхности с 330 °С до 800 °С. При этом скорость эрозии возрастает в 2 раза (с $3,9 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл до $7,6 \cdot 10^{-8}$ кг/Кл, соответственно).

При выборе размеров катода учитывается не только компоновка и принятая схема охлаждения катодного узла [5]. Размеры катода зависят от максимально возможной концентрации ионов (n_{iK}) и, следовательно, плотности тока (j_K) на поверхности катода. При расчете предельного тока дугового разряда, при котором не наблюдается перегрев расходоемой части катода, необходимо учитывать, что доля ионного тока, приходящегося на поверхность упрочняемой заготовки, не должна превышать допустимой величины. Эта величина ограничивается предельной токовой нагрузкой на поверхность обрабатываемой заготовки.

В [6] расчет проводили для разных значений высот катода: h_K от 0,02 до 0,05 м и диаметра катода-мишени 0,08 м. В качестве материалов катода рассматривались Ti, TiSi, сталь 40X13. Были приняты

следующие расчетные данные: средний заряд иона Zi (для титановой плазмы +1,6, для плазмы титан-кремний +1,2); заряд электрона $1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл; скорость движения иона $v_i = 2 \cdot 10^4$ м/с; $U_K = 12$ В; $T_{II} = 550$ °К; $T_O = 350$ °К; Получено, что при малых толщинах расходуемой части катода-мишени вакуумного электродугового источника плазмы (h_K), ток допустимого разряда может быть значительным и обеспечивать высокую производительность процесса нанесения покрытий при образовании относительно низкого количества капельной фазы в покрытии. Так, для исследованных материалов, при $h_K = 0,05$ м величина предельно допустимого тока дугового разряда, обеспечивающего формирование в потоке минимального количества капельной фазы, практически равна величине минимального тока устойчивого горения дуги. Следовательно, при больших толщинах катода избежать перегрева эродирующей поверхности и, как следствие, увеличения капельной фазы в потоке нельзя, так как для поддержания устойчивого разряда требуется установить величину разрядного тока существенно выше величины минимального тока устойчивого горения дуги.

Кроме того, температура эродирующей поверхности катода, которая зависит от величины разрядного тока, переносимого через единицу площади эродирующей поверхности катода (F_K), основная характеристика, определяющая механизм эрозионного испарения – термоэмиссионный или взрывоэмиссионный.

В статье исследуется тепловой режим работы расходуемого водоохлаждаемого катода вакуумных электродуговых источников плазмы.

Для анализа теплового режима работы катода сделаем следующие допущения. Рассматриваем теплопередачу через катод как теплопередачу через плоскую стенку. Процесс идет в вакууме (давление в рабочей камере ниже 10^{-2} Па), то конвективного теплообмена с окружающей средой (средой технологического газа) на боковой поверхности катода-мишени не происходит. Учитывая, что процесс эрозионного испарения под действием дугового разряда протекает на интегрально холодном катоде (то есть при температурах ниже температуры красного свечения), то считаем, что при данных температурах катода теплопотери излучением с поверхности катода можно пренебречь. В установившемся режиме работы катода основным механизмом теплопередачи являются:

1. Кондуктивная теплопередача через тело катода, интенсивность которой зависит от величины температурного напора между охлаждаемой и испаряемой торцевыми поверхностями катода ΔT и термического сопротивления материала катода h_K / λ_K , где h_K – толщина расходуемой части катода, λ_K – коэффициент теплопроводности катодного материала;

2. Теплообмен между потоком охлаждающей воды и катодом. Процесс описывается законом Ньютона – Рихмана:

$$q = \alpha \cdot (T_{CT2} - T_{Ж}), \quad (1)$$

где α – коэффициент теплообмена, T_{CT2} – температура охлаждаемого торца катода, $T_{Ж}$ – температура воды (в расчетах принято 30 °С).

Скорость течения охлаждающей воды (w) в системах водоподготовки, также как и в трубах водоснабжения, равна $w = 0,8$ м/с. Кинематическая вязкость воды при 30 °С и давлении 0,1 МПа: $\nu = 0,801 \cdot 10^{-6}$ м²/с, число Прандтля $Pr = 3,56$ [7]. Считаем, что сила тяжести не влияет на характер течения воды в трубах водоохлаждения катодного узла. В таком случае число Рейнольдса $Re = 10^3$, что соответствует ламинарному режиму течения воды.

При ламинарном режиме течения коэффициент теплообмена водного потока с охлаждаемым торцом катода-мишени связан с числом Нуссельта (Nu) соотношением: $\alpha = (Nu \cdot \lambda_{\text{воды}}) / l$, где l – диаметр омываемой поверхности $l = 10^{-1}$ м, а число Нуссельта рассчитывается по формуле [7]:

$$Nu = 1,55 \cdot (Re \cdot Pr \cdot \frac{d}{l})^{0,33},$$

где d – диаметр трубы водоохлаждения, $d = 10^{-2}$ м. Для воды (при температуре 30 °С) $\lambda_{\text{воды}} = 0,618$ Вт/(м · °С).

Тогда, $\alpha = 66,435$ Вт/(м² · °С).

В стационарном тепловом режиме работы катодного узла количество тепла отводимого от охлаждаемого торца катода-мишени (уравнение 1) равно количеству тепла передаваемого через толщину расходуемой части катода-мишени вакуумного электродугового источника плазмы h_K :

$$q = (T_{CT1} - T_{CT2}) \cdot \frac{\lambda_K}{h_K}, \quad (2)$$

где T_{CT1} – интегральная температура поверхности эрозии катода.

Приравнивая уравнения 1 и 2 получим выражение для определения температуры водоохлаждаемого конца катода:

$$T_{CT1} = T_{Ж} + q \cdot (\frac{1}{\alpha} + \frac{h_K}{\lambda_K}). \quad (3)$$

Прежде чем воспользоваться уравнением 3 определим величину числа Био, который характеризует отношение сопротивления теплопередачи внутри тела катода к сопротивлению теплообмена с окружающей средой (в данном случае с потоком охлаждающей воды). Для расчетов возьмем титановый катод с толщиной расходуемой части $h_K = 0,05$ м и

величиной теплопроводности $\lambda_k = 385,4 \text{ Вт / (м} \cdot \text{°C)}$. Тогда:

$$Bi = (h_k \cdot a) / \lambda_k = 8,6 \cdot 10^{-3} \ll 0,01. \quad (4)$$

Таким образом температура по толщине катода будет распределена равномерно. Скорость нагрева и конечная температура катода зависят только от интенсивности теплоотдачи. Процесс выравнивания температуры в теле катода происходит более интенсивно, чем отвод тепла с его охлаждаемой поверхности. Без учета потерь тепла излучением можно считать, что в стационарном режиме работы дугового испарителя весь катод будет иметь одну и ту же интегральную температуру, то есть $T_{CT1} = T_{CT2}$.

Оценим температуру нагрева катодов, изготовленных из разных материалов. Для этого воспользуемся уравнением 3, в котором введем обозначение: $\Delta T = T_{CT1} - T_{ж}$. Для расчета примем величину тока дугового разряда $I_{дуги} = 70 \text{ А}$. Необходимо учесть,

что на нагрев катода идет не более 0,3 выделяемого тепла при дуговом разряде [3]. Площадь эродирующей (торцевой) поверхности катода радиусом 0,08 м равна $S = 0,005 \text{ м}^2$.

Тогда:

$$q = U_k \cdot I_{дуги} \cdot 0,3/S, \quad (5)$$

где падение напряжения на катоде $U_k = 0,4 \cdot (U_{дуги} - \varphi_e)$ [5].

Работа выхода электрона (φ_e) зависит от выбранного материала катода [9]. Для большинства материалов напряжение дугового разряда $U_{дуги} = 20 \dots 30 \text{ В}$. Для расчета принимаем величину напряжения дугового разряда равной 25 В.

Результаты расчетов сведены в таблицу 1. В таблице также приведены рассчитанные значения критерия Био для подтверждения гипотезы равномерности распределения температуры по толщине катода.

Таблица 1 – Результаты расчетов температуры нагрева катодов, изготовленных из разных материалов

Table 1 – Results of calculations of the heating temperature of cathodes made of different materials

Материал катода	$\frac{\lambda_k, \text{ Вт / (м} \cdot \text{град) [8]}}{h_k / \lambda_k}$	Число $Bi = \frac{h_k \cdot a}{\lambda}$	$\varphi_e, \text{ эВ}$	$U_k, \text{ В}$	$q_k, \text{ Вт/м}^2$	$\Delta T, \text{ °C}$	Температура плавления материала, °C
Al	$\frac{231}{2,16 \cdot 10^{-4}}$	$1,43 \cdot 10^{-2}$	4,16	8,336	35011	525	660
Cu	$\frac{385,8}{1,3 \cdot 10^{-4}}$	$8,63 \cdot 10^{-3}$	4,81	8,076	33919	509	1085
Сталь 45	$\frac{54,5}{9,17 \cdot 10^{-4}}$	$6,09 \cdot 10^{-2}$	4,8	8,08	33936	539	1535
Ni	$\frac{75,65}{6,6 \cdot 10^{-4}}$	$4,38 \cdot 10^{-2}$	5,2	7,92	33264	521	1455
Ti	$\frac{21,05}{2,38 \cdot 10^{-3}}$	0,158	4,33	8,268	34725	603	1680
Mo	$\frac{125,5}{3,95 \cdot 10^{-4}}$	$2,6 \cdot 10^{-2}$	4,66	8,136	34171	525	2620

Как показывают расчеты, интегральная температура катода T_{CT1} для всех рассматриваемых материалов около 500 °C кроме титана. Интегральная температура катода влияет на эрозию катода, особенно в дуговых разрядах. При повышении интегральной температуры катода увеличивается давление насыщенных паров катодного вещества, что приводит к экспоненциальному росту скорости термического испарения что способствует увеличению эрозии. Баланс температуры катода важен для оптимизации его износа и работоспособности:

слишком низкая температура снижает воздействие, слишком высокая – резко увеличивает эрозию из-за испарения материала и изменения микроструктур поверхности.

Отличие титана и его сплавов от других выбранных металлов и стали связано с его низкой теплопроводностью [10]. Рассчитанные значения чисел Био, для принятых условий теплообмена, меньше 0,01 для всех материалов кроме титана. По всей вероятности, на титановых катодах будет наблюдаться наличие существенного градиента температуры в на-

правлении от поверхности эрозии до поверхности охлаждения. Не смотря на высокие температуры, достигаемые в зоне катодного пятна, интегральная температура катода остается относительно низкой. Этой температуры недостаточно для обеспечения высокого эмиссионного тока электронов с эродирующей поверхности катода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных расчетов температуры нагрева катода-мишени, изготовленного из различных материалов, интегральная температура находится в диапазоне 500 °С до 605 °С за исключением титана. Таким образом, без учета потерь тепла излучением можно считать, что в стационарном режиме работы дугового испарителя весь катод-мишень будет иметь одну и ту же интегральную температуру. Не смотря на высокие температуры, достигаемые в зоне катодного пятна, интегральная температура катода остается относительно низкой (порядка 500 °С). Этой температуры недостаточно

для обеспечения высокого эмиссионного тока электронов с эродирующей поверхностью катода.

Однако, сильный ток с эродирующей поверхностью вызывает быстрое разрушение и переход материала катода-мишени в плазменное состояние, что приводит к возникновению тока высокой плотности, что вызывает взрывные воздействия электронов. Взрывные воздействия электронов вызывают мощное искрообразование и перегрев материала поверхности, приводя к быстрому испарению, плавлению и эрозии катода-мишени. Оптимальной температурой поверхности катодного пятна в вакуумных дугах и разрядах является температура металла, из которого изготовлен катод-мишень, что обеспечивает достаточную теплоотдачу и испарение материала.

С учетом соблюдения всех критериев возможность получения качественного покрытия с заданными свойствами возрастает, что позволит обеспечить в дальнейшем его использование как для изделий медицинского назначения, так и других отраслях обрабатывающей промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мрочек, Ж. А. Современное состояние исследований плазменных жаростойких и упрочняющих покрытий в области вакуумно-плазменных жаростойких и упрочняющих покрытий / Ж. А. Мрочек, И. А. Иванов, В. А. Соколовский // *Весці НАНБ. Серія фізіка-тэхнічных навук.* – 2002. – № 3. – С. 121.
2. Иванов, И. А. Пути совершенствования вакуумных источников плазмы для упрочняющей обработки сталей и сплавов в машиностроении / И. А. Иванов // *Материалы междунар. науч. конф. «Инновации направленные на экономию энергии и ресурсов в области литья и обработки металлов»*, Ташкент, 21 – 23 мая 2025. – Ташкент. – С. 14–15.
3. Парфенов, А. Г. Теоретические исследования вакуумных дуг / А. Г. Парфенов // *Известия томского политехнического университета.* – 2000. – Том 303(3). – С. 105 – 117. https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/3204/1/bulletin_tpu-2000-303-3-11.pdf.
4. Хороших, В. М. Эрозия катода и расход массы катодного материала в стационарной дуге низкого давления / В. М. Хороших // *Физическая инженерия поверхности.* – 2004. – Том 2. – № 4. – С. 184 – 199. <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/551c78fd-c040-44fe-bca1-f201ac8d263b/content>.
5. Иванов, И. А. Комплексный подход к решению технологической задачи получения катодов-мишеней из силицидов металлов для вакуумных ионно-плазменных источников / И. А. Иванов, А. Г. Слуцкий, В. А. Шейнерт, А. Н. Белый // *Литтё и металлургия.* – 2022. – № 3. – С. 83 – 90. DOI: 10.21122/1683-6065-2022-3-83-90.
6. Иванов, И. А. Влияние геометрических размеров катода вакуумного электродугового испарителя плазмы на величину допустимого тока дугового разряда / И. А. Иванов, Е. О. Нарушко // *Наука и техника. Серия 1. Машиностроение.* – 2015. – № 3. – С. 25–29. <https://sat.bntu.by/jour/article/view/821/812>.
7. Маршалова, Г. С. Свободно-конвективный теплообмен на круглоребристых трубах и пучках из них / Г. С. Маршалова, А. Б. Сухоцкий, В. Б. Кунтыш // *Инженерно-физический журнал.* – 2023. – Том 96. – № 4. – С. 1091–1105.
8. Поуэл, Р. Наиболее важные результаты в изучении теплопроводности металлов / Р. Поуэл // *Успехи физических наук.* – 1971. – Том 105(2). – С. 329-351.
9. Трофимов, А. И. Физические основы эмиссии электронов в металлах при нагреве и воздействии ультразвука // *Вестник российской академии естественных наук.* – 2014. – № 4. – С. 21-25 <https://raen.info/upload/000/vestnik/2014/4/21-25.pdf>.
10. Baltatu, M.S. Chiriac-Moruzzi C, Vizureanu P. Effect of heat treatment on some titanium alloys used as biomaterials [Electronic resource] / M. S. Baltatu, C. Chiriac-Moruzzi, P. Vizureanu // *Applied sciences.* – 2022. – Vol. 12(21). – 11241. Available from: <file:///C:/Users/User/Downloads/applsci-12-11241.pdf>. Accessed: 19 November 2025. DOI: 10.3390/app122111241.

REFERENCES

1. Mrochek ZhA, Ivanov IA, Sokolovsky VA. Current state of research on plasma heat-resistant and hardening coatings in the field of vacuum-plasma. *Vestsi NANB. Seryya fizika-tekhnichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*. 2002;(3):121. (In Russ.)
2. Ivanov IA. Ways to improve vacuum plasma sources for hardening treatment of steels and alloys in mechanical engineering. In: *Materialy mezhdunar. nauch. konf. «Innovatsii napravlennye na ekonomiyu energii i resursov v oblasti lit'ya i obrabotki metallov» = Proceedings of the international scientific conference «Innovations aimed at saving energy and resources in metal casting and processing»*, May 21-23, 2025, Tashkent; 2025:14-15. (In Russ.)
3. Parfenov A.G. Theoretical studies of vacuum arcs. *Izvestiya tomskogo politekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Tomsk Polytechnic University*. 2000;(303(3):105 – 117. https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/3204/1/bulletin_tpu-2000-303-3-11.pdf. (In Russ.)
4. Khoroshikh VM. Cathode erosion and mass consumption of cathode material in a stationary low-pressure. *Fizicheskaya inzheneriya poverkhnosti = Physical Surface Engineering*. 2004;2(4):184-199. <https://nasplib.isofts.kiev.ua/server/api/core/bitstreams/551c78fd-c040-44fe-bca1-f201ac8d263b/content>. (In Russ.)
5. Ivanov IA, Slutsky AG, Sheinert VA, Bely AN. An integrated approach to solving the technological problem of obtaining metal silicide target cathodes for vacuum ion-plasma sources. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. 2022;(3):83–90. DOI: 10.21122/1683-6065-2022-3-83-90. (In Russ.)
6. Ivanov IA, Narushko EO. Influence of vacuum arc plasma evaporator cathode geometry of on value of admissible arc discharge current. *Nauka i tekhnika. Seriya I. Mashinostroenie = Science & Technigue. Series I. Mechanical engineering*. 2015;(3):25-29. <https://sat.bntu.by/jour/article/view/821/812>. (In Russ.)
7. Marshalova GS, Sukhotsky AB, Kuntyshev VB. Free convection heat transfer on annular-finned tubes and bundles thereof. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal = Journal of engineering physics and thermophysics*. 2023;96(4):1091-1105. (In Russ.)
8. Powell R. The most important results in the study of thermal conductivity of metals. *Uspekhi fizicheskikh nauk = Advances in Physical Sciences*. 1971;105(2): 329-351. (In Russ.)
9. Trofimov AI. Physical principles of electron emission in metals during heating and exposure to ultrasound. *Vestnik Rossijskoj akademii estestvennykh nauk*. 2014;4:21-25. <https://raen.info/upload/000/vestnik/2014/4/21-25.pdf>. (In Russ.)
10. Baltatu MS, Chiriac-Moruzzi C, Vizureanu P. Effect of heat treatment on some titanium alloys used as biomaterials. *Applied Sciences*. 2022;12(21):11241. Available from: <file:///C:/Users/User/Downloads/applsci-12-11241.pdf> [Accessed 19 November 2025]. DOI: 10.3390/app122111241.

Сведения об авторах

Иванов Игорь Аркадьевич

Доктор технических наук, профессор, декан механико-технологического факультета Белорусского национального технического университета, г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: deanmtf@bntu.by

Ковалевич Эмма Владимировна

Научный сотрудник отдела научно-методического обеспечения инновационного развития государственного учреждения «Белорусский институт системного анализа и информационного анализа научно-технической сферы», г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: kavalevich@belisa.org.by, 2113emma@gmail.com

Information about the authors

Igor A. Ivanou

Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Mechanical Engineering and Technology of Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus
E-mail: deanmtf@bntu.by

Emma V. Kovalevich

Research fellow, Department of Scientific and Methodological Support for Innovative Development, Belarusian Institute of System Analysis and Information Support of Scientific and Technical Sphere, Minsk, Republic of Belarus
E-mail: kavalevich@belisa.org.by, 2113emma@gmail.com

Статья поступила в редакцию 10.11.2025.

Метод генерации управляющих программ для швейных полуавтоматов с микропроцессорным управлением на основе принципа референциальной независимости

А. Э. Бувевич,
Т. В. Бувевич

Учреждение образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. Современные требования к качеству и себестоимости обуви обуславливают переход на швейные полуавтоматы с микропроцессорным управлением (МПУ), однако их внедрение ограничено низкой точностью соединительных строчек. Проблема заключается в кумулятивных погрешностях традиционной технологии, где контуры строчек, оснастка и управляющие программы проектируются по разным чертежам без учета реальных контуров вырубленных деталей. Целью исследования является разработка принципиально нового технологического подхода, обеспечивающего высокую воспроизводимость строчек. В работе применены методы математического моделирования, оптического сканирования с коррекцией теневых искажений и анализа статистических распределений погрешностей. Предложен принцип референциальной независимости, согласно которому векторный контур эталона (картонного шаблона, вырубленного тем же резаком, что и детали) становится единственным источником данных для проектирования оснастки и генерации управляющих программ [1]. Разработана математическая модель суммарной погрешности прокладывания соединительных строчек, основанная на методе Монте-Карло, и экспериментально подтверждена эффективность предложенного подхода [1, 2]. Достигнуто снижение поля рассеивания погрешности прокладывания строчки с $\pm 1,68$ мм до $\pm 0,17$ мм. Результаты применимы в обувной промышленности, а также в других отраслях, требующих точной сборки деталей по сложным контурам. Предложенный подход формирует новую парадигму автоматизированного производства, исключая накопление погрешностей и обеспечивающую соответствие технологическим требованиям.

Ключевые слова: автоматизированная технология, швейный полуавтомат с МПУ, оснастка, референциальная независимость, метод Монте-Карло, оптическое сканирование, абсолютная система координат, погрешность прокладывания строчки.

Method for Generating Control Programs for Microprocessor-Controlled Sewing Semiautomatic Machines Based on the Principle of Referential Independence

Artur E. Buyevich,
Tatsiana V. Buyevich

Educational institution "Vitebsk State University named after P.M. Masherov", Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. Modern requirements for footwear quality and cost-effectiveness necessitate the adoption of microprocessor-controlled semi-automatic sewing machines. However, their implementation is limited by low precision in stitching lines. The problem lies in cumulative errors of traditional technology, where stitching contours, fixtures, and control programs are designed from separate drawings without accounting for actual contours of cut parts. The objective of this study is to develop a fundamentally new technological approach ensuring high reproducibility of stitching lines. Mathematical modelling, optical scanning with shadow distortion correction, and statistical error distribution analysis were employed. The principle of reference independence was proposed, whereby the vector contour of a reference (cardboard template cut by the same cutter as the parts) becomes the sole

data source for fixture design and control program generation. A mathematical model of total stitching error was developed using the Monte Carlo method, and the effectiveness of the proposed approach was experimentally confirmed. The dispersion range of stitching positioning error was reduced from ± 1.68 mm to ± 0.17 mm. Results are applicable in the footwear industry and other sectors requiring precise assembly of complex contour parts. The proposed approach establishes a new paradigm of automated manufacturing that eliminates error accumulation and ensures compliance with technological requirements.

Keywords: automated technology, microprocessor-controlled sewing machine, fixture, reference independence, Monte Carlo method, optical scanning, absolute coordinate system, stitching positioning error.

ВВЕДЕНИЕ

Современные требования к качеству и себестоимости обуви обуславливают необходимость перехода от ручных и полуавтоматических методов сборки к полностью автоматизированным технологиям. Швейные полуавтоматы с микропроцессорным управлением представляют собой перспективное решение для автоматизации операции стачивания заготовок верха обуви, позволяя выполнять сложные краевые строчки за одну установку и повышая производительность труда. Однако широкое внедрение зарубежных систем (USM, «Дюркопп и Адлер», «Джуки») ограничено не только высокой стоимостью оборудования (50–75 тыс. USD), но и сложностью этапа подготовки производства, который включает проектирование и изготовление технологической оснастки, разработку управляющих программ для швейного полуавтомата [3, 4].

Традиционные подходы, основанные на последовательном проектировании: конструкторский чертеж \rightarrow шаблон \rightarrow резак \rightarrow деталь \rightarrow кассета \rightarrow программа, неизбежно порождают кумулятивную цепочку погрешностей. Каждый этап – от неточности резака до округления относительных координат – накапливает ошибку, требуя дорогостоящей корректировки и слесарной доводки. Эта проблема не решается улучшением отдельных компонентов; она требует реинжиниринга самой методологии проектирования [5, 6]. Таким образом, смена методологии проектирования технологического процесса сборки заготовок верха обуви на швейных полуавтоматах с МПУ становится стратегическим направлением для повышения эффективности автоматизированной технологии и конкурентоспособности отрасли.

В данной работе представлены теоретические основы автоматизированных технологий, основанных на принципе референциальной независимости. Эти подходы позволяют преодолеть фундаментальные ограничения традиционных методов, обеспечивая достижение высокой точности и воспроизводимости без увеличения затрат на оборудование.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Теоретической основой предложенного подхода является принцип референциальной независимости,

сущность которого заключается в формировании единого, непрерывного и замкнутого технологического цикла, где исходный контур является единственной, неизменной и референциальной точкой отсчета для всех последующих операций. Этот контур – не конструкторский чертеж, не САД-модель, а векторное изображение эталона, полученного оптическим сканированием картонного шаблона, вырубленного тем же резаком, что и детали верха обуви.

Для математической формулировки этого принципа введем следующие обозначения.

C_{etalon} – векторный контур эталона:

$$C_{etalon} = \{p_i^{etalon} = (x_i^{etalon}, y_i^{etalon})\}_{i=1}^N,$$

где p_i^{etalon} – i -я точка контура в системе координат $X_{etalon} O_{etalon} Y_{etalon}$, жестко связанной с эталоном.

C_{cutout} – контур выреза в промежуточной пластине кассеты:

$$C_{cutout} = \{p_i^{cutout} = (x_i^{cutout}, y_i^{cutout})\}_{i=1}^N,$$

C_{seam} – контур соединительной строчки, эквидистантный к контуру детали на расстоянии a :

$$C_{seam} = \{p_i^{seam} = (x_i^{seam}, y_i^{seam})\}_{i=1}^M.$$

Принцип референциальной независимости требует, чтобы:

$$C_{cutout} = C_{etalon} \quad \text{и} \quad C_{seam} = \text{Equidistant}(C_{etalon}, a),$$

где оператор $\text{Equidistant}(C, a)$ генерирует множество точек, каждая из которых находится на расстоянии от соответствующей точки контура C вдоль нормали к нему.

Этот принцип означает, что все три ключевых компонента технологического процесса – оснастка, управляющая программа шитья и управляющая программа фрезерования – формируются одновременно и параллельно из одного и того же источника информации. Это исключает:

- погрешности, возникающие при изготовлении резаков по приближенному контуру;
- ошибки, связанные с интерполяцией и ап-

проксимацией контуров в CAD-системах;

- неизбежные расхождения между чертежом и реальным изделием;
- накопление погрешностей при переходе от относительных координат к абсолютным.

Математическое определение эквидистантной кривой для кусочно-гладкого контура C_{etalon} , состоящего из отрезков прямых и дуг окружностей, может быть выражено как:

$$p_i^{seam} = p_i^{etalon} + a \cdot n_i,$$

где n_i – единичный вектор нормали к контуру C_{etalon} в точке p_i^{etalon} , направленный в сторону, где должна быть проложена строчка. Его длина должна быть равна единице, чтобы при умножении на скаляр a получилось именно смещение на расстояние a .

Для прямолинейного участка контура, заданного двумя последовательными точками $p_{i-1}^{etalon} = (x_{i-1}^{etalon}, y_{i-1}^{etalon})$ и $p_i^{etalon} = (x_i^{etalon}, y_i^{etalon})$, вектор, направленный вдоль отрезка, вычисляется:

$$d_i = p_i^{etalon} - p_{i-1}^{etalon} = \begin{pmatrix} x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon} \\ y_i^{etalon} - y_{i-1}^{etalon} \end{pmatrix}.$$

Этот вектор d_i называется вектором направления. Чтобы получить вектор, перпендикулярный ему (нормаль), мы меняем местами координаты и меняем знак одной из них. Для вектора $d_i = (dx, dy)$, перпендикулярный вектор может быть $(-dy, dx)$ или $(dy, -dx)$. Выбор зависит от того, в какую сторону от контура нужно отложить строчку. Для строчки, прокладываемой внутри контура детали, выбираем:

$$n_i^{raw} = \begin{pmatrix} -(y_i^{etalon} - y_{i-1}^{etalon}) \\ x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{i-1}^{etalon} - y_i^{etalon} \\ x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon} \end{pmatrix}.$$

Этот вектор n_i^{raw} имеет длину, отличную от единицы. Чтобы получить единичный вектор, мы делим его на его собственную длину (модуль). Длина вектора вычисляется по теореме Пифагора:

$$|n_i^{raw}| = \sqrt{(y_{i-1}^{etalon} - y_i^{etalon})^2 + (x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon})^2}.$$

Таким образом, единичный вектор нормали вычисляется как:

$$n_i = \frac{n_i^{raw}}{|n_i^{raw}|} = \frac{1}{\sqrt{(y_{i-1}^{etalon} - y_i^{etalon})^2 + (x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon})^2}} \begin{pmatrix} y_{i-1}^{etalon} - y_i^{etalon} \\ x_i^{etalon} - x_{i-1}^{etalon} \end{pmatrix}.$$

Для дуги окружности с центром $c = (x_c, y_c)$ и радиусом R , нормаль в точке p_i^{etalon} является радиус-

вектором, направленным от центра к точке на окружности, и нормированным:

$$n_i = \frac{p_i^{etalon} - c}{\|p_i^{etalon} - c\|}.$$

Здесь $\|p_i^{etalon} - c\|$ – это евклидова норма (расстояние) между точкой p_i^{etalon} и центром c . Поскольку p_i^{etalon} лежит на окружности радиуса R , то $\|p_i^{etalon} - c\| = R$. Следовательно, формула упрощается до:

$$n_i = \frac{p_i^{etalon} - c}{R}.$$

Это означает, что вектор нормали для дуги просто равен вектору от центра окружности к точке на контуре, деленному на радиус. Это и есть единичный вектор.

Таким образом, математическая модель процесса становится детерминированной и обратимой: исходный контур C_{etalon} однозначно определяет все геометрические параметры оснастки и программы. Это фундаментальный сдвиг от эмпирического подхода к инженерной точности.

Для обоснования эффективности предложенного подхода была разработана и экспериментально верифицирована математическая модель расчета суммарной погрешности прокладывания соединительных строчек. Применен вероятностный метод, основанный на методе Монте-Карло, что позволяет учесть статистическую природу всех факторов, влияющих на точность.

Суммарная погрешность Δa_{Σ} прокладывания строчки, определяемая как отклонение фактического положения строчки от заданного расстояния a от края детали, является функцией четырех независимых составляющих:

$$\Delta a_{\Sigma} = f(\Delta a_b, \Delta a_u, \Delta a_i, \Delta a_k),$$

где Δa_b – погрешность базирования каретки координатного устройства; Δa_u – погрешность установки кассеты на каретке координатного устройства; Δa_i – погрешность позиционирования иглы швейной головки; Δa_k – кинематические погрешности перемещения каретки координатного устройства вследствие зазоров в кинематических парах и упругости звеньев [7, 8].

Для каждой компоненты были получены статистические характеристики (среднее значение μ , стандартное отклонение σ) на основе 200 повторных измерений. Эксперименты показали, что все составляющие имеют нормальный закон распределения:

$$\Delta a_j \sim N(\mu_j, \sigma_j^2), \quad j \in \{b, u, i, k\}.$$

Поскольку сумма независимых нормально распределенных случайных величин также является нормально распределенной, суммарная погрешность:

$$\Delta a_j \sim N \left(\sum_j \mu_j, \sum_j \sigma_j^2 \right).$$

Метод Монте-Карло был применен для моделирования распределения Δa_Σ в реальных условиях.

Алгоритм расчета для одной точки контура i включает следующие шаги:

1. Генерация элементарных погрешностей:

$$\Delta x_b \sim N(0,0011, 0,0312);$$

$$\Delta y_b \sim N(0,00375, 0,0372);$$

$$\Delta y_u \sim N(0,00001, 0,000012);$$

$$\Delta y_i \sim N(0,002, 0,0052);$$

$$\Delta x_k \sim N(0,0047, 0,00122);$$

$$\Delta y_k \sim N(0,0035, 0,00112).$$

Здесь $N(\mu, \sigma^2)$ означает, что случайная величина взята из нормального распределения с математическим ожиданием μ и дисперсией σ^2 . Эти значения получены экспериментально измерением реальных погрешностей на оборудовании.

2. Расчет вектора отклонения точки i от ее номинального положения из-за каждой погрешности.

Векторы отклонения точки i из-за погрешностей $\Delta a_b, \Delta a_u, \Delta a_i, \Delta a_k$ обозначим соответственно $\Delta r_{b,i}, \Delta r_{u,i}, \Delta r_{i,i}, \Delta r_{k,i}$:

$$\Delta r_{b,i} = (\Delta x_b; \Delta y_b);$$

$$\Delta r_{u,i} = (\Delta x_u; \Delta y_u) = (R_i \sin(\Delta y_u); (R_i (\cos(\Delta y_u) - 1)));$$

$$\Delta r_{i,i} = (0; \Delta y_i);$$

$$\Delta r_{k,i} = (\Delta x_k; \Delta y_k).$$

Здесь $\Delta r_{b,i}$ – это вектор, на который смещается точка i на платформе из-за того, что вся каретка с кассетой сдвинулась в системе координат полуавтомата на $\Delta x_b, \Delta y_b$.

$\Delta r_{u,i}$ – это смещение точки i из-за поворота всей кассеты на угол Δy_u вокруг штифта (центра поворота). Для этого используется геометрия вращения. Если точка i находится на расстоянии R_i от центра поворота, то при повороте на малый угол Δy_u (в радианах) ее координаты изменяются.

Для малых углов $\sin(\Delta y_u) \approx \Delta y_u$ и $\cos(\Delta y_u) \approx$

$$\approx 1 - \frac{(\Delta y_u)^2}{2} \approx 1.$$

Поэтому смещение по оси x пропорционально $R_i \cdot \Delta y_u$, а по оси y – почти нулевое. Для точности берется выражение $R_i (\cos(\Delta y_u) - 1)$. R_i – расстояние от точки i до центра поворота вычисляется по формуле:

$$R_i = \sqrt{(x_i + x_a)^2 + (y_i + y_a)^2},$$

где (x_a, y_a) – координаты центра поворота (штифта) в системе координат кассеты.

$\Delta r_{i,i}$ – это смещение точки i из-за того, что игла сдвинулась на Δy_i относительно своего номинального положения.

$\Delta r_{k,i}$ – это смещение точки i из-за того, что координатное устройство сдвинуло кассету на $\Delta x_k, \Delta y_k$ во время движения. Это смещение добавляется к позиции, которая уже была задана программой.

3. Проекция вектора суммарного смещения на нормаль к контуру строчки:

$$\Delta a_{j,i} = \Delta r_{j,i} \cdot n_i = \Delta x_{j,i} \cdot n_x + \Delta y_{j,i} \cdot n_y.$$

Здесь $\Delta a_{j,i}$ – это проекция вектора смещения $\Delta r_{j,i}$ на направление нормали n_i . Это критически важный шаг. Нас интересует не общее смещение точки в пространстве, а именно отклонение от номинального контура строчки. Это отклонение измеряется вдоль линии, перпендикулярной контуру, то есть вдоль нормали n_i . Скалярное произведение $\Delta r_{j,i} \cdot n_i$ как раз и дает нам эту проекцию. Например, если точка сдвинулась строго вдоль нормали, то $\Delta a_{j,i}$ будет равно модулю $\Delta r_{j,i}$. Если смещение было перпендикулярно нормали, то $\Delta a_{j,i} = 0$, что означает, что это смещение не повлияло на расстояние до строчки. Это позволяет точно оценить влияние каждой погрешности на итоговую точность.

4. Суммирование и определение суммарной погрешности:

$$\Delta a_{\Sigma,i} = \sum_{j \in \{b,u,i,k\}} \Delta a_{j,i}.$$

Это простое алгебраическое суммирование проекций всех четырех погрешностей на нормаль. Поскольку все они влияют на одно и то же – отклонение от номинального расстояния a – их эффекты складываются. Это и есть суммарная погрешность для конкретной точки i контура.

Для контрольного контура, описанного 378 точками, было сгенерировано 200 вариантов для каждой из 4 погрешностей, что дало 75 400 реализаций. Результаты моделирования показали, что Δa_Σ имеет нормальное распределение с параметрами:

$$\Delta a_\Sigma \sim N(0,002, 0,058^2).$$

Таким образом, 95 % всех реализаций (согласно правилу 2σ) попадают в интервал $[-0,114, 0,118]$ мм. Экспериментальная проверка на деталях верха обуви подтвердила, что поле рассеивания отклонения a сократилось с $\pm 1,68$ мм (традиционный метод) до $\pm 0,17$ мм, что согласуется с теоретической моделью [9].

Одним из ключевых элементов, обеспечивающих реализацию принципа референциальной независимости, является метод получения векторного изображения эталона. Традиционные методы, такие как дигитайзирование, имеют погрешность порядка $\pm 0,25$ мм. Предложен метод оптического сканирования с последующим преобразованием растрового изображения в векторное (метод контурной линии), который обеспечивает точность до $\pm 0,05$ мм.

Для устранения теневых артефактов, возникающих при сканировании толстых материалов, предложена модификация конструкции прижимной крышки сканера. Вместо подвижного источника света, в крышку интегрирован стационарный источник, обеспечивающий равномерное боковое освещение всей поверхности эталона. Это исключает зависимость результата от угла падения света [9, 10].

После сканирования растровое изображение преобразуется в векторную форму методом контурной линии. Математически это можно описать как:

$$C_{etalon} = \text{ContourExtract}(I_{raster}) = \{p_i\},$$

где I_{raster} – матрица пикселей растрового изображения, а оператор *ContourExtract* находит контур, представляющий границу между черным (деталь) и белым (фон) пикселями, и аппроксимирует его линейными и криволинейными сегментами.

$$I_{raster} \in R^{W \times H}.$$

Погрешность дискретизации при сканировании с плотностью n DPI определяется размером пикселя:

$$h = \frac{25,4}{n} \text{ мм.}$$

Погрешность измерения линейного размера составляет:

$$S = \pm \frac{h}{2} = \pm \frac{25,4}{2n} \text{ мм.}$$

Для $n = 300$ DPI : $S = \pm 0,042$ мм, что удовлетворяет требованиям точности. Погрешность $\pm h/2$ возникает потому, что контур может проходить где угодно внутри пикселя. Если пиксель имеет размер h , то максимальное отклонение центра контура от его истинного положения – это половина размера пикселя, то есть $h/2$.

Вторым критическим элементом, обеспечивающим точность, является переход от относительной системы координат к абсолютной системе координат в управляющей программе. В традиционных подходах, где программа генерируется на основе аппроксимированных контуров и координаты передаются в виде приращений $(\Delta X, \Delta Y)$, каждое округление до целого импульса ($\pm 0,0125$ мм) накапливается. После N стежков ошибка может достигать $N \cdot \pm 0,0125$ мм.

В предложенной технологии, поскольку управляющая программа формируется напрямую из векторного изображения эталона, координаты каждого прокола иглы рассчитываются в абсолютной системе координат, жестко привязанной к платформе швейного полуавтомата. Пусть $p_i^{seam} = (x_i, y_i)$ – координаты i -го прокола в системе координат, привязанной к кассете. Тогда координаты в системе координат полуавтомата $p_i^{sh} = (x_i^{sh}, y_i^{sh})$ определяются как:

$$p_i^{sh} = R \cdot p_i^{seam} + T,$$

где R – матрица поворота (если есть угол поворота кассеты), а $T = (T_x, T_y)$ – вектор смещения центра кассеты. Матрица поворота для угла θ имеет вид:

$$R = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{pmatrix}.$$

Эта матрица преобразует координаты точки, заданные в системе кассеты, в координаты в системе полуавтомата, учитывая возможный поворот кассеты. Вектор T добавляет смещение центра кассеты относительно начала координат полуавтомата [11, 12].

Управляющая программа для швейного полуавтомата записывается в формате HP-GL, где каждая команда PD(PenDown), соответствующая точке прокола иглой, содержит абсолютные координаты в импульсах:

$$\text{PD}(x_i^{sh} \cdot \text{imp/mm}, y_i^{sh} \cdot \text{imp/mm}),$$

где imp/mm – количество импульсов на миллиметр, определяемое характеристиками шагового двигателя и редуктора.

Таким образом, каждый стежок независим и привязан к исходному эталону, а не к предыдущему проколу. Это полностью исключает кумулятивную ошибку округления.

Транслятор (hp_prog.exe) выполняет следующие преобразования:

$$\text{Input: } C_{etalon} \in DXF,$$

$$\text{Intermediate: } C_{seam} = \text{Equidistant}(C_{etalon}, a),$$

$$\text{Output: } P_{sh} = \{\text{PD}(x_i^{sh}, y_i^{sh})\}_{i=1}^M \in \text{HP-GL},$$

где M – количество точек на контуре строчки.

Важно, что в этом процессе нет промежуточно-го округления. Координаты x_i^{sh} , y_i^{sh} вычисляются с высокой точностью (например, 6–8 знаков после запятой), а только потом, при генерации команды PD, они умножаются на imp/mm и округляются до целого числа. Это происходит один раз для каждой точки, а не последовательно для каждого стежка.

Приведем последовательность преобразований в трансляторе управляющей программы для швейного полуавтомата:

- Input (Вход). Исходными данными является векторный контур эталона, представленный в формате DXF (DrawingExchangeFormat), который содержит точные координаты всех опорных точек контура;

- Intermediate (Промежуточный). На этом этапе вычисляется эквидистантная кривая (то есть кривая, параллельная исходному контуру на заданном расстоянии a), которая определяет траекторию, по которой должна прокладываться соединительная строчка. Функция «Equidistant» геометрически строит эту кривую, используя исходный контур «C_{etalon}» и заданное расстояние $a_{зад} = 1,5$.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Table 1 – Experimental results

Показатель	Традиционная технология	Предложенная технология
Среднее отклонение Δa_{cp}	0,32 мм	0,08 мм
Стандартное отклонение $\sigma_{\Delta a}$	0,41 мм	0,05 мм
Максимальное отклонение $ \Delta a_{max} $	1,68 мм	0,17 мм
Поле рассеивания (max–min)	1,96 мм	0,32 мм
Процент отклонений $> \pm 0,25$ мм	42 %	0 %

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанные теоретические подходы представляют собой системный сдвиг в методологии автоматизации сборки обуви. Вместо улучшения отдельных элементов (более точные станки, лучшие датчики), предложенная методология переопределяет саму суть технологического процесса. Принцип референциальной независимости, реализованный через оптическое сканирование эталона, абсолютную систему координат и цифровую трансляцию, позволяет:

- исключить кумулятивные погрешности, присущие цепочкам «чертеж → резак → деталь → кассета → программа»;
- обеспечить стабильную точность проклады-

- Output (Выход). Результатом является управляющая программа в формате HP-GL (Hewlett-PackardGraphicsLanguage), состоящая из серии команд PD, каждая из которых задает абсолютные координаты (x_i^{sh}, y_i^{sh}) точки прокола иглы в системе координат полуавтомата. Индекс i изменяется от 1 до M , где M – общее количество точек (проколов) на контуре строчки. Этот формат напрямую понимается микропроцессором швейного полуавтомата.

Для верификации предложенного подхода были проведены сравнительные эксперименты на заготовках верха обуви. Были сшиты партии заготовок верха обуви двумя способами: по традиционной технологии и по предложенной.

Измерения расстояния a от края детали до строчки проводились микроскопом МПБ-2 (погрешность $\pm 0,05$ мм) на 150-и точках для пяти заготовок каждого типа. Результаты статистической обработки эксперимента при заданном расстоянии строчки от края детали $a_{зад} = 1,5$ мм представлены в таблице 1.

Статистическая проверка гипотезы о равенстве средних с использованием t -критерия Стьюдента для независимых выборок показала, что различие статистически значимо ($p < 0,001$).

вания строчек в пределах $\pm 0,17$ мм, что превышает требования ГОСТ;

- создать интеллектуально-технологическую основу для гибкого автоматизированного производства, способного быстро переключаться на новые модели без значительных затрат на перенастройку [9].

Предложенный подход не является просто набором новых инструментов; это новая парадигма проектирования технологических процессов, основанная на прямом захвате реальности и ее цифровом отображении. Он демонстрирует, что достижение высокой точности в сложных технологических системах возможно не за счет увеличения сложности оборудования, а за счет устранения избыточных и

ошибкоемких этапов в цепочке преобразования информации.

Таким образом, разработанные теоретические подходы не только решают конкретную задачу

обувной промышленности, но и предлагают универсальную методологию для автоматизации других отраслей, где требуется высокая точность технологической обработки по сложным контурам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бувич, А. Э. Автоматизированное проектирование и изготовление оснастки и разработка управляющих программ к швейному полуавтомату с микропроцессорным управлением / А. Э. Бувич, Б. С. Сункуев // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2001. – № 3. – С. 43–47.

2. Бувич, А. Э. Компьютерное моделирование погрешностей сборки деталей верха обуви в заготовку на полуавтоматах с микропроцессорным управлением / А. Э. Бувич, Т. В. Бувич // *Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: Материалы VI Международной научно-методической конференции. Часть II*. Минск, 2003. – С. 142–145.

3. Сункуев, Б. С. Швейный полуавтомат с МПУ для сборки заготовок верха обуви / Б. С. Сункуев, А. Э. Бувич, А. П. Давыдько, А. В. Морозов // *Каталог «В мире оборудования»*. – №9(14). – 2001. – С. 20-21.

4. Бувич, А. Э. Автоматизированное проектирование оснастки для швейного полу-автомата с микропроцессорным управлением / А. Э. Бувич // *Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы науки, техники и экономики легкой промышленности»*, г. Москва, 19–21 апреля 2000 г. – Москва, 2000. – С. 85.

5. Краснер, С. Ю. Оценка качества процессов в механизмах вышивальных полуавтоматов : монография / С. Ю. Краснер, Ю. В. Новиков. – Витебск : УО «ВГТУ», 2019. – 190 с.

6. Новиков, Ю. В. Оценка процессов в швейных полуавтоматах под мехатронные модули : монография / Ю. В. Новиков. – Saarbrücken : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2022. – 200 с.

7. Новиков, Ю. В. Исследование погрешности перемещения координатного устройства / Ю. В. Новиков, В. Ф. Куксевич // *Материалы и технологии*. – 2023. – № 2 (12). – С. 12–16. DOI: 10.24412/2617-

149X-2023-2-12-16.

8. Борисов, Е. А. Исследование механизма позиционирования каретки / Е. А. Борисов, Ю. В. Новиков // *Материалы докладов 56-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов* : в 2 т. – Витебск : УО «ВГТУ», 2023. – Т. 2. – С. 7–9.

9. Бувич, А. Э. Разработка автоматизированного комплекса для проектирования и изготовления оснастки и подготовки управляющих программ к швейному полуавтомату с микропроцессорным управлением : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.02.13 – машины, агрегаты и процессы (легкая промышленность) / А. Э. Бувич. – Витебск, 2003. – 25 с.

10. Костин, П. А. Методика повышения точности оцифровки исходных контуров деталей верха обуви при автоматизированном проектировании технологической оснастки к швейному полуавтомату с числовым программным управлением / П. А. Костин, Б. С. Сункуев, А. Э. Бувич // *Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности : материалы Международной научно-технической конференции*, Витебск, 13–14 ноября 2019 г. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019. – С. 161–163.

11. Костин, П. А. Разработка методики сборки верха обуви с использованием САПР КОМПАС 3D / П. А. Костин, Б. С. Сункуев, Е. О. Ремша // *Материалы докладов 53-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов* : в 2 т. – Витебск : УО «ВГТУ», 2020. – Т. 1. – С. 259–261.

12. Костин, П. А. Разработка методики повышения точности сборки верха обуви при использовании САПР Компас-3D / П. А. Костин, Б. С. Сункуев, В. С. Асташенок // *Материалы докладов 54-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов* : в 2 т. – Витебск : УО «ВГТУ», 2021. – Т. 1. – С. 252–255.

REFERENCES

1. Buevich AE, Sunkuev BS. Automated design and manufacturing of fixtures and development of control programs for semi-automatic sewing machines with microprocessor control. *Vestnik Vitebskogo*

gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk state technological university. 2001;3:43–47. (In Russ.)

2. Buevich AE, Buevich TV. Computer modeling

of assembly errors of upper shoe parts in blanks on semi-automatic machines with microprocessor control. In: *Nauka i obrazovanie v usloviyakh sotsial'no-ekonomicheskoy transformatsii obshchestva: Materialy VI Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Chast' II = Science and education in the conditions of socio-economic transformation of society: Materials of the VI International Scientific and Methodological Conference. Part II, Minsk; 2003: 142–145. (In Russ.)*

3. Sunkeev BS, Buevich AE, Davydko AP, Morozov AV. Semi-automatic sewing machine with MPU for assembly of upper shoe blanks. *Katalog «V mire oborudovaniya»*. 2001;9:20–21. (In Russ.)

4. Buevich AE. Automated design of fixtures for semi-automatic sewing machines with microprocessor control. In: *Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy nauki, tekhniki i ekonomiki legkoy promyshlennosti» = Abstracts of the International scientific and technical conference «Actual problems of science, technology and economy of light industry»*. 19–21 April, 2000, Moscow; 2000:85. (In Russ.)

5. Krasner SY, Novikov YV. Otsenka kachestva protsessov v mekhanizmakh vyshival'nykh poluavtomatov = Evaluation of quality processes in embroidery semi-automatic machines mechanisms. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2019:190. (In Russ.)

6. Novikov YV. Otsenka protsessov v shveynykh poluavtomatakh pod mekhatronnye moduli = Evaluation of processes in sewing semi-automatic machines under mechatronic modules. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing; 2022:200. (In Russ.)

7. Novikov YV, Kuksevich VF. Investigation of coordinate device positioning error. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 2023;2(12): 12–16. DOI: 10.24412/2617-149X-2023-2-12-16. (In Russ.)

8. Borisov EA, Novikov YV. Investigation of carriage positioning mechanism. In: *Materialy dokladov 56-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : v 2 t. = Materials of the 56th International scientific and technical conference of teachers and students: in 2 vols.*

Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2023;2:7–9. (In Russ.)

9. Buevich AE. Razrabotka avtomatizirovannogo kompleksa dlya proektirovaniya i izgotovleniya osnastki i podgotovki upravlyayushchikh programm k shveynomu poluavtomatu s mikroprotssornym upravleniem :avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk : 05.02.13 – mashiny, agregaty i protsessy (legkaya promyshlennost') = Development of an automated complex for the design and manufacture of fixtures and preparation of control programs for semi-automatic sewing machines with microprocessor control: author's abstract of dissertation ... cand. tech. sci.: 05.02.13 – machines, units and processes (light industry). Vitebsk; 2003:25. (In Russ.)

10. Kostin PA, Sunkeev BS, Buevich AE. Methodology for improving the accuracy of digitizing initial contours of upper shoe parts during automated design of technological fixtures for semi-automatic sewing machines with numerical control. In: *Innovative technologies in textile and light industry: Materials of the International Scientific and Technical Conference, 13–14 November 2019, Vitebsk*. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2019:161–163. (In Russ.)

11. Kostin PA, Sunkeev BS, Remsha EO. Development of a method for assembling upper shoe parts using CAD COMPAS 3D. In: *Materialy dokladov 53-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : v 2 t. = Materials of the 53rd International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students: in 2 vols*. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2020;1:259–261. (In Russ.)

12. Kostin PA, Sunkeev BS, Astashenok VS. Development of a methodology for improving the accuracy of upper shoe assembly using CAD COMPAS-3D. In: *Materialy dokladov 54-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov : v 2 t. = Materials of the 54th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students: in 2 vols*. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2021;1:252–255. (In Russ.)

Сведения об авторах

Буевич Артур Эдуардович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инженерной физика учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: arturby@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8361-3336>

Буевич Татьяна Владимировна

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной физика учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: buevih.tv@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6283-257X>

Information about the authors

Artur E. Buyevich

Cand. Sc. in Eng., Assoc. Prof., Department of Engineering Physics, Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: arturby@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8361-3336>

Tatsiana V. Buyevich

Cand. Sc. in Eng., Assoc. Prof., Head of Department of Engineering Physics, Vitebsk State University named after P.M. Masherov, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: buevih.tv@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6283-257X>

Статья поступила в редакцию 25.11.2025.

Комплексный подход к проектированию интерьера магазина льняных изделий «POLE KVETAK»

И. С. Гурко, Учреждение образования «Витебский государственный
Н. А. Абрамович, технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь
Д. А. Скидан

Аннотация. В условиях эволюции розничной торговли на базе комплексного подхода к проектированию предложен дизайн-проект интерьера магазина льняных изделий «POLE KVETAK» для Оршанского льнокомбината. Целью проведенного исследования является разработка функционального, эстетичного и инновационного дизайна интерьера магазина способного удовлетворить потребности бренда и целевой аудитории. В перечень проектных задач вошли определение стратегии и концепции бренда «POLE KVETAK», разработка непосредственно интерьера бутика, а также его световое и звуковое оформление. Особое внимание уделено эстетической стороне дизайна и грамотной маркетинговой составляющей объекта. Актуальность темы обусловлена не только экономическими выгодами, но и социокультурными и экологическими аспектами, связанными с продвижением натуральных материалов. Проект ориентирован на создание комфортного и функционального пространства, которое обеспечит положительный опыт покупок для клиентов и повысит конкурентоспособность магазина на рынке. Введение инновационных решений в области зонирования, освещения и звукового оформления позволит подчеркнуть уникальность продукции и создать благоприятную атмосферу для покупателей.

Ключевые слова: дизайн интерьера, льняные изделия, брендинг, экология, потребительская культура, функциональность, эстетика, инновации.

Comprehensive Approach to Designing the Interior of Linen Products Store "POLE KVETAK"

Illia C.Gurko, Educational institution "Vitebsk State Technological University",
Natalia A. Abramovich, Vitebsk, Republic of Belarus
Daria A. Skidan

Abstract. In the context of the evolution of retail trade, a design project for the interior of linen store "POLE KVETAK" for Orsha Linen Mill was developed based on an integrated approach to design. The purpose of this study was to develop a functional, aesthetic, and innovative interior design for the store that would meet the needs of the brand and its target audience. The project's objectives included: developing a brand strategy and concept for "POLE KVETAK" store, designing the boutique's interior, and developing its lighting and sound design. Particular attention was paid to the aesthetics of the design and a competent marketing component of the outlet. The relevance of the topic is due not only to economic benefits, but also to socio-cultural and environmental aspects associated with the promotion of natural materials. The project is aimed at creating a comfortable and functional space that will provide a positive shopping experience for customers and increase the store's competitiveness in the market. The introduction of innovative solutions in the field of zoning, lighting and sound design will highlight the uniqueness of the products and create a favorable atmosphere for customers.

Keywords: interior design, linen products, branding, ecology, consumer culture, functionality, aesthetics, innovation.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире дизайн интерьера играет ключевую роль в формировании привлекательной и функциональной среды для коммерческих предприятий. Особое внимание уделяется розничной торговле, которая требует инновационных подходов для создания уникального и запоминающегося интерьера, способного привлечь и удержать внимание потребителей [1].

Лен всегда играл важную роль в культуре и экономике Беларуси. Оршанский льнокомбинат, будучи одним из ведущих производителей льняных изделий в регионе, продолжает традиции качества и инноваций. Он не только сохраняет традиционные методы производства, но и внедряет современные технологии для создания продукции, соответствующей мировым стандартам [2].

Объектом исследования выступают комплексные подходы к проектированию общественных пространств. Предметом исследования является дизайн-концепт интерьера магазина, специализирующегося на продаже льняных изделий.

Цель проектного исследования заключается в разработке функционального, эстетичного и инновационного дизайна интерьера магазина «POLE KVETAK», учитывающего специфику товаров и потребности целевой аудитории, не только обновление физического пространства магазина, но и усиление бренда «POLE KVETAK» как символа качества и стиля. Для достижения цели решены следующие задачи:

- анализ современных тенденций в дизайне розничных магазинов и особенностей торговли льняными изделиями;
- изучение бренда «POLE KVETAK», его ценностей и целевой аудитории;
- обновление интерьера, создание современного и привлекательного пространства, соответствующего требованиям бренда и отражающего уникальность и качество продукции;
- улучшение клиентского опыта, обеспечение удобства и комфорта для покупателей, улучшение логистики внутри магазина [3];
- усиление бренда, подчеркивание уникальных характеристик продукции Оршанского льнокомбината через дизайн и маркетинг;
- создание дизайн-проекта с учетом функциональности, эргономики, свето-техники, цветового решения и материалов;
- оценка экономической эффективности и устойчивости предложенного дизайн-проекта;
- определение рекомендаций по реализации проекта и его дальнейшему сопровождению.

Предполагается, что реализация поставленных задач позволит создать уникальное пространство

для магазина «POLE KVETAK», способствующее успешной деятельности на рынке льняных изделий. Проект также привлечет внимание к экологически чистым продуктам и принципам устойчивого потребления.

Проектирование качественного интерьера магазина льняных изделий, в первую очередь, имеет ключевое значение для удовлетворения потребностей и предпочтений местного потребителя. Белорусский рынок является важным сектором для льнотекстильной промышленности, и поэтому создание функционального магазина на внутреннем рынке имеет стратегическое значение:

- *удовлетворение спроса национального рынка.* Развитие сети магазинов, специализирующихся на продаже льняных изделий, внутри страны поможет удовлетворить растущий спрос на натуральные и экологически чистые товары среди белорусских потребителей;
- *поддержка местной промышленности.* Продвижение и продажа льняных изделий внутри страны способствует поддержке и развитию местной льнотекстильной промышленности, что в свою очередь способствует экономическому развитию страны и сокращению зависимости от импорта;
- *формирование культуры потребления.* Создание привлекательного и качественного интерьера магазина «POLE KVETAK» внутри страны сформирует культуру потребления экологически чистых и устойчивых товаров среди белорусского населения, что важно для развития осознанного потребительского поведения;
- *стимулирование туризма и местного предпринимательства.* Привлекательный магазин, ориентированный на продажу льняных изделий, может стать интересным объектом для туристов, способствуя развитию местного предпринимательства и туристической индустрии.

Методы комплексного подхода к проектированию интерьера включают разработку концепции, задающей общее направление, создание планировочных решений для зонирования пространства и расстановки мебели, визуализацию проекта с помощью коллажей или 3D-моделей, а также детальную разработку рабочей документации (чертежи, ведомости и спецификации). Комплексный подход, несомненно, учитывает функциональность, эргономику и эстетические принципы для создания гармоничного пространства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Бренд пересекается с аудиторией во многих точках контакта, все они становятся частью его идентичности и влияют на восприятие аудиторией. На данный момент исследуемый образ торгового про-

странства выглядит неоднородно и не транслирует ценности. Визуальная и текстовая коммуникация отличается, существует множество несистематизированных каналов. Ключевая задача – объединить

коммуникацию, сформировать целостный образ и отразить главные смыслы во всех элементах бренда, формирующих его идентичность и узнаваемость (рис. 1).

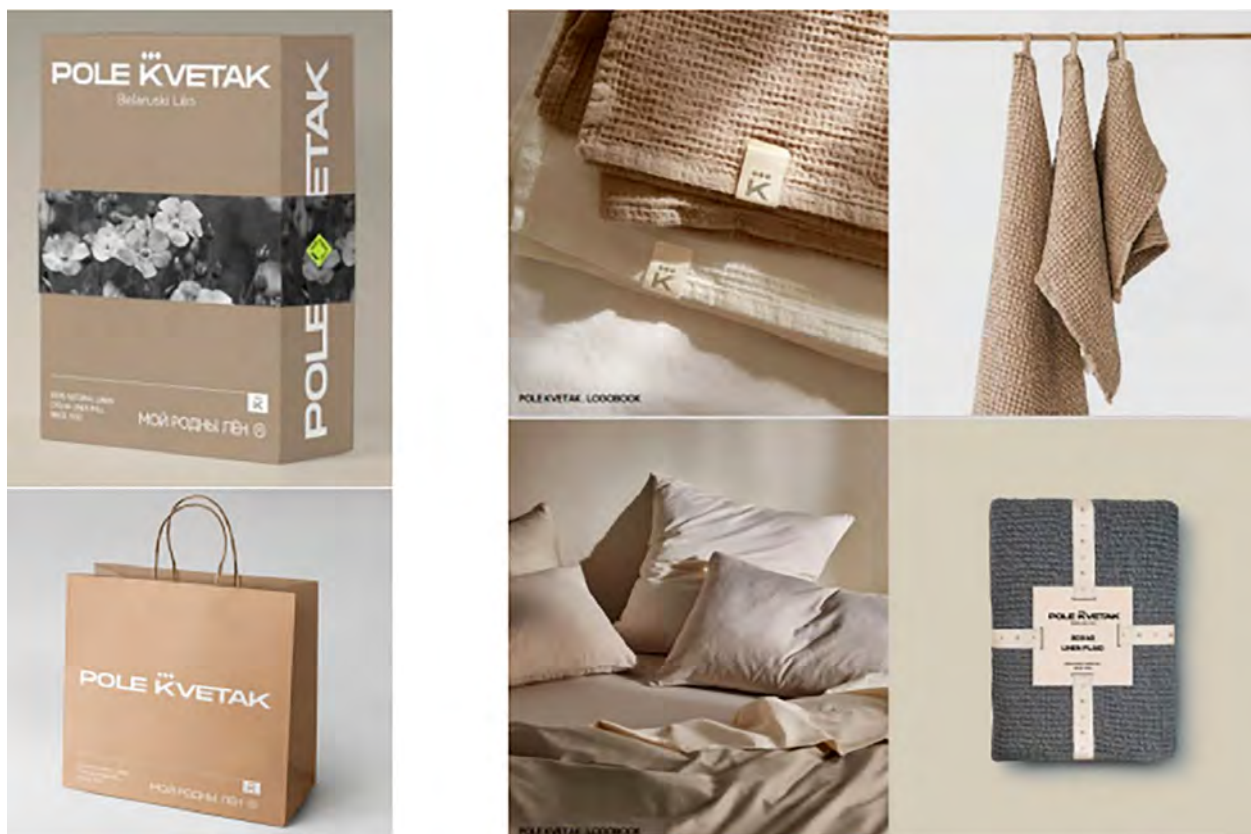


Рисунок 1 – Элементы фирменной упаковки продукции

Figure 1 – Elements of branded product packaging

Направления в решениях торговых пространств постоянно эволюционируют, отражая последние веяния моды, трансформации в покупательских привычках и свежие дизайнерские решения. Наиболее актуальными являются следующие:

- *минимализм и функциональность*. Многие потребители отдают предпочтение сдержанному дизайну, в котором основное внимание уделяется предлагаемой продукции. Лаконичные формы, ясные линии и нейтральная палитра создают умиротворяющую атмосферу, позволяя посетителям сосредоточиться на ассортименте;

- *персонализация*. Магазины все активнее стремятся к созданию индивидуализированного сервиса для каждого клиента. Это достигается посредством индивидуальных консультаций, аутентичного оформления помещения или подбора товаров, соответствующих запросам посетителя;

- *интерактивность*. С целью привлечения внимания и повышения вовлеченности покупателей, магазины интегрируют интерактивные элементы в интерьер. Это могут быть сенсорные панели с информацией о продукции, виртуальные примерочные, интерактивные инсталляции;

- *экологичность*. В связи с повышением осведомленности потребителей о важности защиты окружающей среды, магазины все чаще придерживаются принципов экологически устойчивого дизайна. Это предусматривает использование природных и экологически безопасных материалов, а также сокращение отходов и потребления энергии;

- *интеграция технологий*. Современные технологические решения, такие как «умные» зеркала, RFID-метки, дополненная реальность и мобильные приложения, все шире применяются в оформлении магазинов с целью улучшения клиентского опыта и

оптимизации продаж;

- *комфортные зоны отдыха.* Зачастую в магазинах создаются уютные зоны релаксации, где покупатели могут отдохнуть, расслабиться и восстановить силы. Это могут быть удобные диваны, мягкие кресла или обустроенные кафетерии.

Эти тренды отражают стремление потребителей к созданию уникального и притягательного пространства, которое не только эффективно продает товары, но и оставляет у покупателей яркие и приятные впечатления от посещения магазина.

На этапе анализа выявлены ключевые проблемы текущего состояния магазина:

- устаревший дизайн – интерьер не соответствует современным тенденциям и ожиданиям покупателей;

- неэффективное использование пространства – недостаточно функциональных зон для комфортного перемещения и выбора товаров;

- недостаточное освещение – плохое освещение влияет на восприятие продукции и общее впечатление от магазина [4].

В проектировании интерьера торгового помещения «POLE KVETAK» было уделено особое внимание удобству и привлекательности хранения выставочной ткани для создания наилучшего визуального контакта и удовлетворения потребностей клиентов в поиске. Для этого были разработаны специальные зоны хранения, которые обеспечивают легкий доступ к тканям и удобство их осмотра. Каждая зона хранения выставочной ткани была организована с учетом ее визуального представления, что позволяет клиентам максимально удобно выбирать и оценивать различные текстуры, расцветки и фактуры. Для этого ткань была аккуратно разложена по цветам и типам, что обеспечивает легкость в поиске и создает привлекательный общий облик магазина.

Концепция нового дизайна бутика сочетает традиции и современность, используя натуральные материалы, такие как дерево и лен, для создания уютной и теплой атмосферы. Спокойные и нейтральные цветовые решения акцентируют внимание на продукции, делая ее центральным элементом интерьера. Внедрение инновационных технологий, включая интерактивные дисплеи и цифровые решения, улучшают клиентский опыт, обеспечивая современный и удобный подход к покупкам. Такое сочетание создает уникальное пространство, которое привлекает внимание и удовлетворяет потребности клиентов.

Продуманная планировка пространства обеспечивает удобство передвижения и позволяет покупателям свободно знакомиться с ассортиментом. Зонирование бутика выполнено с учетом функциональности и эстетики, создавая отдельные пространства для

разных категорий товаров. Примерочные комнаты оформлены в минималистичном стиле и оснащены регулируемым освещением, обеспечивая комфорт и приватность для клиентов.

В дизайне бутика также предусмотрены элементы, отражающие философию бренда и его ценности. Использование экологически чистых материалов и энергосберегающих технологий подчеркивает заботу об окружающей среде и соответствие современным тенденциям устойчивого развития. Интеграция арт-объектов и элементов декора, созданных местными художниками, придает бутику индивидуальность и уникальность, делая его не просто местом для покупок, а пространством, погружающим в мир бренда [5].

В результате создается гармоничное сочетание традиций и инноваций, предлагающее клиентам не просто приобретение товаров, а полноценный опыт, наполненный эстетикой, комфортом и вниманием к деталям. Бутик становится местом, куда хочется возвращаться, чтобы насладиться атмосферой, открыть для себя новые коллекции и почувствовать себя частью мира бренда [6].

Пространственное планирование включает:

- *зона экспозиции товара.* Центральная часть магазина, где представлены основные коллекции. Она должна быть просторной и хорошо освещенной;

- *примерочные.* Удобные и приватные, с достаточным количеством зеркал и хорошим освещением;

- *зона для персонала.* Функциональная и удобная, обеспечивающая эффективность работы.

Помещение разделено на несколько функциональных зон с учетом основных потребностей покупателей. Входная зона была спроектирована таким образом, чтобы привлекать внимание и создавать первое впечатление о магазине. Здесь были размещены витрины с наиболее яркими и интересными экспонатами, привлекающими внимание прохожих и приглашающими заинтересованных посетителей внутрь.

Далее следует зона экспозиции товаров, где каждая коллекция представлена в удобном и доступном формате. При этом были учтены принципы визуального мерчендайзинга для создания привлекательного и удобного для покупателей пространства.

Зона для разделки ткани представляет специально оборудованное место, предназначенное для подготовки материала к продаже. В этой зоне клиенты могут выбирать нужное количество ткани и заказывать ее разделку на нужные размеры. Для удобства покупателей и работников магазина зона для разделки ткани оснащена специализированным оборудованием, таким как стол для размещения ткани, рулонные ножницы, рулетки и прочее. Эта зона обеспечивает

клиентам возможность получить нужный размер ткани на месте, что делает процесс покупки более удобным и эффективным.

Особое внимание было уделено зоне примерки, где было обеспечено комфортное и уютное место для клиентов, чтобы они могли с удовольствием примерить выбранные товары. Кроме того, были предусмотрены удобные зоны ожидания для сопровождающих и общения с консультантами.

Для обеспечения удобства и эффективной работы персонала была создана отдельная рабочая зона, где были размещены кассовые аппараты, складские помещения и другое оборудование, необходимое для обслуживания клиентов.

Итоговый результат планировки и функционального размещения магазина «POLE KVETAK» на объекте «Витебский лен» (г. Витебск) отвечает всем требованиям современного розничного пространства, обеспечивая комфортное и удобное для покупателей и персонала место для покупок и общения.

Детализация интерьера направлена на создание уютной и привлекательной атмосферы. Декоративные элементы, такие как текстиль и растения, подчеркивают природную тематику. Мебель – элегантная и функциональная, с акцентом на комфорт и стиль. Аксессуары тщательно подбираются, чтобы отражать уникальность бренда, создавая гармоничное и запоминающееся пространство [7].

Световое оформление играет ключевую роль в создании атмосферы. Мягкий, рассеянный свет подчеркивает текстуры натуральных материалов и создает приятную атмосферу для посетителей. Точечные светильники акцентируют внимание на ключевых элементах коллекции, направляя взгляд и выделяя особенности каждой модели. Грамотно спланированное освещение играет ключевую роль в создании желаемого впечатления и усиливает визуальное восприятие представленных товаров.

При проектировании освещения интерьера бутика «POLE KVETAK» были разработаны различные сценарии, обеспечивающие оптимальное использование пространства и создание нужной атмосферы. Эти сценарии учитывают функциональные и эстетические требования, а также соответствуют современным стандартам и нормам. Основные сценарии освещения, используемые в проекте:

– *общее освещение.* Предназначено для равномерного освещения всего помещения. Используются светильники с мягким, рассеянным светом. Обеспечивается уровень освещенности в пределах 300–500 лк;

– *акцентное освещение.* Направлено на выделение ключевых элементов интерьера, таких как выставочные стеллажи и декоративные элементы. Используются регулируемые светильники для созда-

ния контрастов и акцентов. Уровень освещенности может достигать 1000 лк для выделения зон особого внимания;

– *функциональное освещение.* Обеспечивает дополнительное освещение в зонах, требующих повышенного внимания, таких как кассовые зоны и примерочные. Используются светильники с возможностью регулировки яркости и цветовой температуры;

– *декоративное освещение.* Создает атмосферу и подчеркивает стиль интерьера. Включает использование светодиодных лент и подсветки декоративных элементов, таких как перегородки и ресепшен.

Современные системы управления освещением позволяют гибко адаптировать сценарии в зависимости от времени суток и мероприятий. Они автоматически регулируют яркость в ответ на изменения естественного освещения, изменяют цветовую температуру для создания нужного настроения и поддерживают программируемые сценарии, которые можно настроить под конкретные события или акции, обеспечивая оптимальное освещение в любой ситуации [8].

Цветопередача светильников является важнейшим аспектом в проектировании освещения интерьера бутика «POLE KVETAK», поскольку она обеспечивает высокое качество восприятия продукции. В проектируемом павильоне используются светодиодные светильники с индексом цветопередачи (CRI) не ниже 90, что позволяет точно и реалистично отображать натуральные цвета льняной одежды и тканей. Такая точность цветопередачи особенно важна для покупателей, так как она помогает им лучше оценивать цвет и текстуру товаров. Кроме того, возможность регулирования цветовой температуры освещения позволяет адаптировать его под различные сценарии и время суток. Это улучшает восприятие цвета и создает более комфортную и привлекательную атмосферу в магазине. Такая продуманная организация освещения положительно влияет на покупательский опыт, способствуя более осознанному принятию решений о покупке. В целом, качественное освещение играет ключевую роль в создании привлекательного и удобного розничного пространства, что подчеркивает его значимость для удовлетворения клиентов [9].

Звуковое оформление создает уютную и расслабляющую атмосферу в магазине. Фоновая музыка подобрана с учетом стиля и концепции бренда, что помогает создать соответствующее настроение и усиливает впечатление от посещения магазина. Звуковое сопровождение также может включать в себя звуки природы или льняных полей, чтобы усилить ассоциации с природными материалами, кото-

рые представлены в продукции бренда. Подобраны несколько треков белорусской группы «Shuma», которые могут быть включены в плейлист.

Витрина является лицом магазина и привлекает внимание прохожих:

- *баннеры и слоганы.* Использование льняных элементов и привлекательных слоганов, подчеркивающих преимущества продукции;
- *динамические элементы.* Интерактивные дисплеи и световые эффекты для привлечения внимания.

Предлагаемая витрина представляет собой новый и эффективный способ привлечения внимания клиентов к магазину, заменяя существующую неактуальную и неприемлемую по композиции и дизайну экспозицию баннерами. Каждое из четырех окон магазина будет оснащено баннером, разработанным с учетом стиля и концепции магазина «POLE KVETAK» (рис. 2).



Рисунок 2 – Пример баннера

Figure 2 – Banner example

Для усиления бренда и привлечения новых клиентов разработана комплексная маркетинговая стратегия:

- *социальные сети.* Активное продвижение в социальных сетях с акцентом на уникальность продукции и обновление магазина;
- *события и акции.* Проведение мероприятий и акций для привлечения клиентов и повышения лояльности;
- *партнерства.* Сотрудничество с местными дизайнерами и художниками для создания уникальных коллекций.

Концепция выбора материалов отделки для бутика «POLE KVETAK» в Витебске основывается на использовании натуральных и экологически чистых материалов, таких как лен, создающих атмосферу уюта и гармонии. Ключевым элементом интерьера является прозрачный ресепшен, выполненный

из панелей с зеркальным напылением, который выполняет как функциональную, так и декоративную роль, привлекая внимание посетителей. Прозрачные стены позволяют разместить внутри экспозицию из песка и растений, символизирующую связь с природой и обновляемую в зависимости от сезона или новых коллекций. Эргономичный дизайн ресепшена обеспечивает удобство для сотрудников и клиентов, а использование прозрачных панелей и натуральных элементов способствует созданию спокойной атмосферы, подчеркивая стремление бренда к сохранению экологического баланса. Таким образом, выбор материалов для отделки бутика отражает приверженность «POLE KVETAK» к природности, экологичности и высоким стандартам качества (рис. 3).



Рисунок 3 – Кассовая зона

Figure 3 – Checkout area

При проектировании ресепшена для бутика «POLE KVETAK» выбраны материалы, соответствующие стандартам ГОСТов Беларуси. Используются прозрачные панели из акрилового или закаленного стекла. Каркас из металлических профилей из алюминия, а основание выполнено из деревянных или металлических элементов. Внутреннее наполнение включает кварцевый песок и живые растения либо их искусственные аналоги.

В качестве основных материалов отделки были выбраны материалы и технологии, обеспечиваю-

щие высокое качество и долговечность интерьера. Основными материалами стали наливной пол светлого молочного цвета, фактурная краска бежевого оттенка, штукатурка с белорусским орнаментом и подшивной потолок. Для отделки стен использована декоративная штукатурка производства «ИЛМАКС», соответствующая белорусским стандартам и доступная на местном рынке.

Для зонирования торгового зала разработаны декоративные перегородки, представляющие собой прозрачную конструкцию с внутренним заполнением снопами сена, обработанными противопожарным составом, освещенными светодиодной подсветкой. Идея сочетает естественность материалов, таких как стекло и сено, с современным дизайном и светодиодной технологией, создавая уникальную атмосферу природы и современного стиля. Создание прозрачной перегородки со снопами сена и подсветкой – это процесс, который требует внимательного подхода к каждому этапу. Оптимальным выбором для прозрачной части перегородки является закаленное стекло или прозрачный акриловый материал, который обеспечит необходимый визуальный эффект. Для рамы решено использовать металлические профили, обеспечивающие необходимую прочность и устойчивость.

Процесс создания декоративных элементов, таких как прозрачные перегородки со снопами сена и респешен с песком и растениями, спроектирован с использованием современных методов и технологий монтажа (рис. 4).

Для создания декоративного эффекта с использованием белорусского орнамента на колоннах подготовлены трафареты с соответствующим рисунком. Трафареты изготовлены из прочного и гибкого материала, который обеспечивает точность и четкость линий при нанесении на штукатурку. Светло-бежевый цвет штукатурки придает интерьеру теплую и спокойную атмосферу. Для достижения ровного и насыщенного цвета штукатурка может быть дополнительно окрашена или тонирована специальными пигментами.

При проектировании современного образа бутика выбран наливной пол светло-молочного цвета. Наливной пол обеспечивает ровную, гладкую и бесшовную поверхность, что идеально подходит для торговых помещений с высокой проходимостью. Светло-молочный цвет добавляет светлоты и визуального пространства, создавая уютную и приветливую атмосферу. Наливной пол обладает рядом преимуществ, таких как износостойкость, гигиеничность, эстетичность и долговечность. Высокая



Рисунок 4 – Торговая зона и зона примерки

Figure 4 – Shopping area and Fitting area

устойчивость к механическим повреждениям делает его идеальным выбором для коммерческих помещений, а бесшовное покрытие легко очищается и поддерживается в чистоте. Кроме того, наливной пол позволяет создать различные декоративные эффекты, что позволяет реализовать любые дизайнерские решения, и обладает высокой прочностью и устойчивостью к износу, что обеспечивает долгий срок службы покрытия.

В процессе проектирования детально рассмотрены и выбраны наиболее подходящие материалы и технологии, обеспечивающие высокое качество, эстетичность и долговечность интерьера. Все используемые материалы тщательно подбирались с учетом их соответствия белорусским стандартам (ГОСТам) и возможностью закупки на местном рынке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе предпроектного анализа выполнены следующие исследования:

- проведен анализ текущего состояния рынка льнотекстиля в Республике Беларусь, включая спрос, предложение, основных конкурентов и тенденции развития отрасли;
- проведен опрос среди целевой аудитории для выявления их потребностей, предпочтений и ожиданий от магазина льняной продукции, результаты которого использованы для разработки концепции и дизайна интерьера;
- проведено исследование основных конкурентов на рынке;
- разработана стратегия и концепция бренда «POLE KVETAK», определяющая его уникальные характеристики, ценностные предложения и позиционирование на рынке;
- разработаны прототипы интерьера магазина с учетом результатов анализа рынка и потребностей аудитории, отражающие идентичку бренда и обеспечивающие удобство и комфорт для покупателей;
- исследованы экологические и устойчивые материалы, методы и подходы к их использованию в

дизайне интерьера магазина с целью снижения негативного воздействия на окружающую среду;

- выполнено исследование музыкальных предпочтений целевой аудитории и подобрано музыкальное сопровождение, способствующее созданию подходящей атмосферы в магазине.

Качественный дизайн интерьера магазина способен не только привлечь внимание потенциальных покупателей, но и улучшить их впечатление от посещения, что в конечном итоге может привести к увеличению объемов продаж и удержанию клиентов.

Успешный льняной магазин на белорусском рынке – это не просто место продажи товаров, а платформа для продвижения белорусской культуры и традиций, а также формирования сильного бренда, ассоциирующегося с качеством, натуральностью и стилем. Развитие розничной сети, ориентированной на белорусского потребителя, требует глубокого понимания культурных особенностей, предпочтений и покупательской способности населения. Лен, как традиционный белорусский материал, имеет значительный эмоциональный отклик, и использование этого фактора в дизайне и маркетинге магазина может значительно повысить его привлекательность.

Первоочередной задачей является создание уникальной атмосферы магазина, отражающей белорусскую идентичность и аутентичность. Маркетинговая стратегия магазина направлена на формирование лояльности у покупателей [10]. Осознание необходимости экологически ответственного потребления делает льнотекстиль предпочтительным выбором для многих потребителей. Создание интерьера магазина, который отражает эти ценности и принципы, помогает привлечь внимание и уважение к бренду.

Таким образом, проект имеет социально-экономическое значение, способствуя удовлетворению потребностей местных потребителей, развитию промышленности и формированию устойчивой потребительской культуры в Беларуси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попова, А. В., Использование льняной ткани в дизайне сувенирной упаковки / А. В. Попова // *Материалы и технологии*. – 2018. – № 2 (2). – С. 94–99. DOI: 10.24411/2617-149X-2018-12017
2. Samutsina, N. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics [Electronic resource] / N. Samutsina, N. Abramovich // *AIP Conference Proceedings. International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021)*, Vitebsk, June 08–10, 2021. – 2022. – 2430. – 020004. Available from: <http://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/15296/5.0077193.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Accessed: 05.10.2025. DOI: 10.1063/5.0077193
3. Медведева, М. Д. Проектирование элементов авторского стиля в дизайне интерьера салона красоты / М. Д. Медведева, Н. Н. Самутина // *Материалы и технологии*. – 2025. – № 1 (15). – С. 61–70. DOI: 10.24412/2617-149X-2025-1-61-70.
4. Березкина, Л. В. Эргономика : учебник для студентов учреждений высшего образования

по специальности «Дизайн» (по направлениям) / Л. В. Березкина, В. П. Кляуззе. – Минск: РИВШ, 2020. – 561 с.

5. Казарновская, Г. В. 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. Трофимов, А. Фирменный стиль и корпоративный дизайн. – Москва, Кнорус, 2024. – 368 с.

7. Сувалова, А. Ю. Дизайн-проект интерьера мебельного салона / А. Ю. Сувалова, Н. Н. Самутина // *Материалы и технологии*. – 2024. – № 1 (13). – С. 49-56. <http://dx.doi.org/10.24412/2617-149X-2024-1-49-56>.

8. Абрамович, Н. А. Материалы и технологии экспозиционного оборудования / Абрамович Н. А., Лукьяненко Е. А. // *Материалы докладов 53-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов*. В двух томах, Витебск, 22 апреля 2020 г., Витебск: Витебский государственный технологический университет. – 2020. – Том 2. – С. 55–57. https://elibrary.ru/download/elibrary_44041370_86762521.pdf

9. Попова, А. В. Эффективность продвижения ювелирного бренда / А. В. Попова, В. А. Виноградова // *Материалы и технологии*. – 2024. – № 1 (13). – С. 42–48. – DOI:10.24412/2617-149X-2024-1-42-48.

10. Ленсу, Я. Ю. Предметное формообразование и общество / Я. Ю. Ленсу // *Искусство и культура*. – 2024. – № 2(54). – С. 5–10. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_67854206_79536263.pdf.

REFERENCES

1. Popova AV, The use of linen fabric in the design of souvenir packaging. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 2018;2(2):94–99. DOI: 10.24411/2617-149X-2018-12017. (In Russ.).

2. Samutsina NN, Abramovich NA. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics. In: AIP Conference Proceedings : International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), June 08–10, 2021, Vitebsk. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022;2430:020004. Available from: <http://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/15296/5.0077193.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed: 5 October 2025]. DOI: 10.1063/5.0077193

3. Medvedeva MD, Samutina NN. Design of elements of the author's style in the interior design of a beauty salon. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 2025;1(15):61–70. DOI 10.24412/2617-149X-2025-1-61-70. (In Russ.)

4. Berzskina LV, Klyauzze VP. Ergonomika : uchebnik dlya studentov uchrezhdeniy vysshego obrazovaniya po spetsial'nosti «Dizayn» (po napravleniyam) = Ergonomics: a textbook for students of higher education institutions majoring in Design (by areas). Minsk: RIVSh, 2020:561. (In Russ.)

5. Kazarnovskaya GV, Tarabuko NI, Abramovich NA et al. Research of the Vitebsk avant-garde and the

use of its ideas in graphic design. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2024:136.

6. Trofimov A. Firmennyy stil' i korporativnyy dizayn = Corporate identity and corporate design. Moscow: Knorus; 2024:368. (In Russ.).

7. Suvalova AY, Samutina NN. Interior design project for a furniture showroom. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 2024;1(13):49–56. DOI 10.24412/2617-149X-2024-1-49-56. (In Russ.)

8. Abramovich NA, Lukyanenko EA. Materials and technologies of exhibition equipment. In: *Materialy dokladov 53-y Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii prepodavateley i studentov*. V dvukh tomakh = Materials of reports of the 53-st International Scientific and Technical Conference of teachers and students. In two volumes, April 22, 2020, Vitebsk. Vitebsk: Vitebsk State Technological University; 2020;2:55–57. (In Russ.)

9. Popova AV, Vinogradova VA. Effectiveness of jewelry brand promotion. *Materialy i tehnologii = Materials and Technologies*. 2024;1(13):42–48. DOI: 10.24412/2617-149X-2024-1-42-48. (In Russ.)

10. Lensu IaYu. Object form creation and the society. *Iskusstvo i kul'tura = Art and Cultur*. 2024;2(54):5–10. https://www.elibrary.ru/download/elibrary_67854206_79536263.pdf. (In Russ.).

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

Скидан Дария Александровна

Студентка факультета дизайна учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: designimoda@yandex.by

Information about the authors

Natalia A. Abramovich

Cand. Sc. in Eng., Assoc. Prof., Head of the Department of Design and Fashion of 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 of Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: illiuha@yandex.ru

Dariua A. Skidan

Student of the Design Faculty at Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: designimoda@yandex.by

Статья поступила в редакцию 20.10.2025.

Этнические мотивы в современной моде как диалог между традиционным прошлым и будущим

Ш. М. Мехтиева,
М. И. Алибекова

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

Аннотация. В современные модные тенденции активно внедряются элементы этнической символики и колорита. Этот тренд наблюдается во многих современных коллекциях известных дизайнеров и брендов, стремящихся создать уникальные, запоминающиеся, востребованные коллекции, в которых отражается идентичность и разнообразие культурного наследия.

В настоящей статье рассмотрен метод интеграции народного искусства в современную модную индустрию изделий лёгкой промышленности. Проведён анализ традиционных костюмов и народных орнаментов Средней Азии. Исследовано творчество современных дизайнеров, вдохновляющихся народным творчеством, искусством при создании авторских коллекций. Рассмотрены наиболее востребованные и популярные сегодня нейросети, где искусственный интеллект (ИИ) использован в качестве вспомогательного инструмента. ИИ способствовал сокращению временных затрат на рутинные процессы и значительно расширил область творчества дизайнера в процессе художественного проектирования. Симбиоз традиционных и инновационных технологий способствовал интерпретации народного искусства в современную авторскую коллекцию обуви и аксессуаров.

Ключевые слова: коллекция, костюм, мода, обувь, тренд, искусственный интеллект, нейросеть.

Ethnic Motifs in Modern Fashion as a Dialogue between the Traditional Past and Future

Shafiga M. Mehtiyeva,
Mariyat I. Alibekova

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "The Kosygin State University of Russia",
Moscow, Russian Federation

Abstract. Elements of ethnic symbols and color are actively being introduced into modern fashion trends. This trend is observed in many contemporary collections of famous designers and brands striving to create unique, memorable, sought-after collections that reflect the identity and diversity of cultural heritage.

This article examines the method of integrating folk art into the modern fashion industry of light industry products. The analysis of traditional costumes and folk ornaments of Central Asia is carried out. The work of modern designers who are inspired by folk art and fine arts when creating author's collections is studied. The most demanded and popular neural networks today, where artificial intelligence (AI) is used as an auxiliary tool, are considered. AI has helped to reduce the time spent on routine processes and significantly expanded the field of creativity of the designer in the process of artistic design. The symbiosis of traditional and innovative technologies has contributed to the interpretation of folk art into a modern author's collection of shoes and accessories.

Keywords: collection, costume, fashion, shoes, trend, artificial intelligence, neural network.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционная одежда является неотъемлемой частью материальной и духовной культуры нации и тесно связана с историей страны. Таким образом, стилизация классических образов с этнической символикой обогащает моду новыми идеями, способствует диалогу между культурами. Этот тренд позволяет нам лучше понять и оценить разнообразие мира, а также создает пространство для творчества и самовыражения.

Цель работы: разработка коллекции современной женской обуви и сумок на основе народного творческого источника.

Задачи исследования:

- анализ традиционного костюма и орнаментов Средней Азии;
- классификация народного костюма;
- анализ коллекций современных дизайнеров;
- создание эскизной коллекции обуви и аксессуаров.

Методы исследований: метод анализа, социологический (анализ социального значения и функций народного костюма в обществе, его влияние на культурную идентичность), метод классификации.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Традиционную народную одежду в Средней Азии, как правило, мастерили из того, что было под рукой – использовали грубую домотканину из шерсти верблюдов и овец, домашней выделки шкуры и войлок. Хлопчатобумажные ткани, бархат, шелк завозились из соседних городов, а несколько позднее и из России [1]. Непременным атрибутом женского образа был головной убор, украшенный вышивкой – шапочка, которая плотно облегла голову и наглухо закрывала волосы [2].

Элементом костюма, являющийся показателем статусности, богатства и социального положения человека была и обувь [3]. Ранее у бедняков и пастухов были только сандалии из толстой кожи, которые они изготавливали собственными силами. Богатые же носили обувь, выполненную мастерами, сапожниками. Жесткие сапоги использовались для езды верхом, а мягкие – для ношения в повседневной жизни. Кожаные полуботинки ручной работы украшались разнообразным орнаментом, пуговицами и монетами. Пожилые женщины носили мягкие сапоги известные как «ичиги» – это были высокие сапоги из черной кожи, на которые надевались кожаные калоши – «кепичи» для носки на улице. Молодые же девушки предпочитали сапоги зеленого или красного цвета, с толстой подошвой или высоким кожаным каблуком. Сапоги, которые предназначались для невесты особо расшивались и украшались аппликацией из цветной и серебряной кожи.

Ни одна женщина в прежние времена не могла представить себе одежду без вышивки, украшения, декора. Украшения придавали женской одежде особый, величественный вид [4]. Они указывали на возраст, семейное и социальное положение. Вышивкой украшали всё – головные уборы, пояса, одежду, обувь. Украшали одежду различными декоративными строчками, аппликациями, кусочками бархата, меховыми лентами, бахромой, складками, кисточками, бисером, коралловыми и перламутровыми пуговицами, перьями и др.

Национальный костюм представляет важный компонент культурной идентичности и исторического наследия народа [5]. Каждый элемент костюма обладает специфическим значением и символикой, что придаёт ему исключительность и уникальность.

Национальный костюм имеет многовековую историю и продолжает использоваться населением как в повседневной жизни, так и в рамках традиционных праздников. Служа своеобразным наследием предков, он сохраняет свою актуальность и преодолевает временные барьеры, поддерживая культурный облик нации и её исторические корни. Народный костюм изобилует традиционными узорами и орнаментами. В первую очередь, геометрический орнамент считается самым древним, архаичным. Издревле считалось, что включение орнаментальных элементов в костюм привлекает благополучие (рис. 1 а).

Цветочными или растительными орнаментами чаще украшалась женская одежда. Интересен символ дерева в растительных орнаментах. Согласно поверьям, весь мир представляет собой большое дерево и такая вышивка символизировала всю вселенную, которая состояла из неба и земли. Считалось, что человек является связующим звеном между ними. Следовательно, такой мотив в народной культуре популярен (рис. 1 б). Некоторые изображения в женских образах олицетворяют эталон мудрости, доброты и сострадания, чистоты, плодородия решительности и силы воли. Распустившийся цветок, к примеру, выражает прекрасный момент, когда раскрывается бутон с благоухающим ароматом.

Зооморфные орнаменты зашифровали в себе послания через изображения с животными. Часто они символизировали борьбу добра со злом или рассказывали историю о том, как воины храбро противостояли врагам (рис. 1 в).

Современные тенденции в моде демонстрируют нам активную интеграцию элементов этнической символики и колорита в классические образы. Этот тренд сегодня наблюдаем во многих коллекциях известных дизайнеров и брендов, которые стремятся создать уникальные, конкурентоспособные



Рисунок 1 – Орнаменты: а – геометрический; б – растительный; в – зооморфный

Figure 1 – Ornaments: a – geometric; b – floral; c – zoomorphic

вещи, изделия лёгкой промышленности, отражающие всё многообразие богатого культурного наследия разных стран и республик¹. Этнические мотивы

представлены в некоторых работах современных дизайнеров, таких как Айпери Обозова, в брендах одежды Homeland, CUTADASH и др. (рис. 2).



Рисунок 2 – Работы современных дизайнеров:
а – коллекции Айпери Обозовой; б – бренд одежды Homeland; в – CUTADASH

Figure 2 – Works by modern designers:
a – collections of Iperi Obozova; b – clothing brand Homeland; c – CUTADASH

Основные аспекты этого тренда – смешение стилей [6]. Дизайнеры часто комбинируют традиционные элементы, такие как вышивка, узоры и ткани, с современными силуэтами и формами – это

создает интересную коллаборацию между прошлым и настоящим. Становятся популярными этнические мотивы – использование узоров и символов, характерных для разных культур. Интеграция

¹Национальный костюм в Кыргызстане [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://deziiign.com/project/1fed157004d94ec2986ca5092e290a9e?ysclid=m9ipuptd8f517023486>. – Дата доступа: 19.10.2025.

этнических элементов в одежду позволяют создать уникальный стиль и выразить свою личность, подчеркивая индивидуальность и самовыражение [7].






Проведённое углубленное исследование первоисточника, в частности, народного костюма, необходимо для разработки авторской коллекции современной одежды, обуви, аксессуаров. Интеграция этнических элементов в соответствующие актуальным, модным, современным тенденциям конструкции, формы, элементы должны сохранить в себе традиционность в образах [8]. Важным аспектом является изучение популярных орнаментов и узоров, декоративных элементов, включая вышивку, аппли-

кации и всё, что может подчеркнуть индивидуальность образа.

В связи с вышеизложенным, по результатам анализа народного костюма было принято решение о необходимости в разработке классификации, содержащей детальный разбор образов. Такая классификация в дальнейшем позволит сформировать представление о народных костюмах-образах, которые впоследствии можно интегрировать в современные дизайны, соответствующие актуальным современным трендам. Результаты исследования фрагментарно представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Анализ и классификация костюма Средней Азии (фрагмент)

Table 1 – Analysis and classification of Central Asian costume (fragment)

Фото	Элементы	Орнамент	Декор	Цвет	Материал
	Платье, камзол	Геометрический	Вышивка Кант Тесьма Орнамент	Розовый Алый Золотой	Хлопок Шелк
	Платье Безрукавка Пояс	Геометрический Растительный	Кант Тесьма Вышивка Украшения Орнамент	Белый Золотой Красный Алый Оранжевый Зеленый Желтый Синий Черный	Парча Шелк
	Калоши	–	Цветовой контраст	Алый Черный	Кожа
	Головной убор	Геометрический	Кант Кисть	Белый Коричневый	Войлок
	Сапоги	–	Цветовой контраст	Алый Черный	Кожа
	Аксессуары	Геометрический Растительный	Украшения Орнамент	Медь Серебро	Металл Камни

В результате систематизации материалов созданы диаграммы, где наглядно продемонстрированы наиболее популярные виды орнаментов, наличие декора и декоративных элементов, распространенных материалов, колористическое решение, наиболее значимые элементы костюма. Результаты представлены некоторыми диаграммами (рис. 3 а–г).

Исходя из анализа выявлено, что наиболее часто встречается геометрический орнамент. Декор богат многообразием вышивок, декоративной тесьмы и разнообразных кисточек. Чаще использовали натуральные материалы. В костюмах популярными являются белые, алые, оранжевые, черные, зелёные, золотые, розовые и фиолетовые цвета [9].

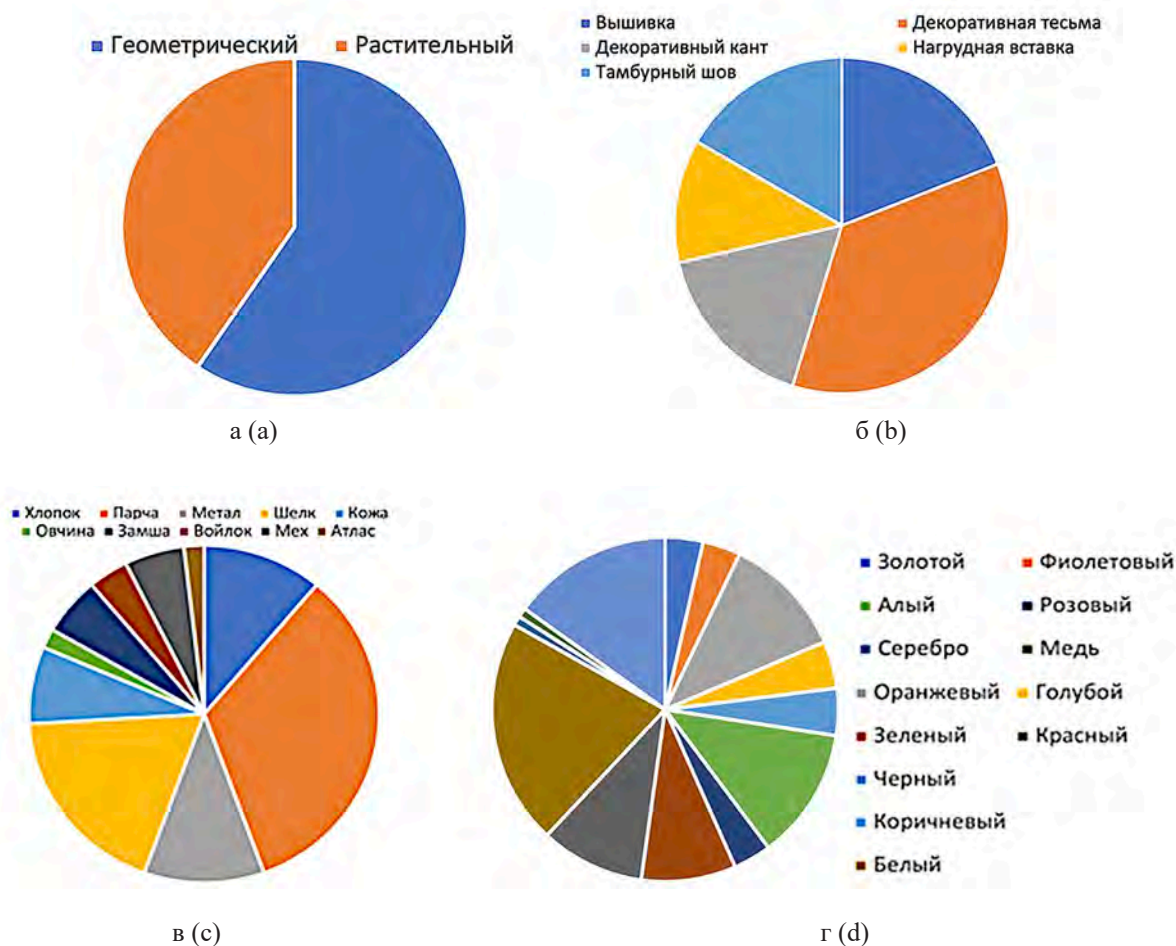


Рисунок 3 – Диаграммы: а – орнамент; б – декор; в – материал; г – цвет

Figure 3 – Diagrams: a – ornament; b – decor; c – material; d – color

При создании коллекции дизайнер опирается на своё видение, насмотренность, накопленный опыт. Искусственный интеллект (ИИ) и новые технологии активно внедряются в нашу жизнь [10].

Инструменты ИИ находят применение в различных сферах, от сбора и анализа данных до творческих процессов и выполнения рутинных задач. Появление новых технологий демонстрирует, что сотрудничество с ИИ открывает перед модной индустрией новые горизонты, бренды стремятся к развитию, исследуя виртуальные пространства и изменяя

способы подачи своих идей [9, 11]. В современных условиях наблюдается растущий интерес к виртуальной реальности как инструменту. При разработке коллекции обуви и сумок с элементами народного костюма были задействованы нейросети, такие как «JAYFLOW.AI», «Шедеврум», «Kandinsky». Процесс генерации в нейросети «Шедеврум» представлен на рисунке 4 а, б.

Для достижения наилучшего результата крайне важно предоставить детальное описание (промт) желаемого объекта, охватывающее все значимые

аспекты: от общей формы и декоративных элементов до мельчайших нюансов, таких как выбор цветовой палитры, тип материала, её текстурные ха-

рактеристики, наличие дополнительных элементов декора, орнамента, а также обозначить необходимое количество различных вариаций модели.



**Рисунок 4 – Исходное изображение и генерации в нейросети «Шедеврум»:
а – первоисточник; б – генерации с промптом: «Женские туфли с национальным орнаментом, допустимая гамма цветов красный, оранжевый, голубой и синий»**

**Figure 4 – The original image and generation in the Shedevrum AI:
a – the original source; b – generation with prompt: "Women's shoes with national ornaments, acceptable range of colors is red, orange, light blue and blue"**

В рамках первого этапа исследования было принято решение провести тестирование ряда нейросетевых систем, применяя к ним одинаковый запрос, что дало возможность глубже проанализировать их функциональные параметры, механизмы обработки запросов и специфику визуализации, а также выявить различия в стиле генерации изображений между разными системами. Генерация, выбранная, для дальнейшей работы над коллекцией – нейросеть «JAYFLOW.AI» [9].

Промты для генерации в нейросети «jauflow.ai»: «Создай обувь с народным орнаментом, допустимая гамма цветов красный, голубой, желтый, оранжевый и синий». «Женские сумки с народным орнаментом, допустимая гамма цветов белый, красный, голубой, синий» (рис. 5).

Промт: «Женские сумки и обувь с народным геометрическим орнаментом, допустимая гамма цветов белый, красный, оранжевый, зеленый, розовый, голубой и синий» (рис. 6).

Для большей детализации обуви и сумок были добавлены в запрос, такие промты: геометрический орнамент, растительный орнамент, конкретная цветовая палитра, форма, орнамент [9].

Современная мода всё чаще обращается к этническим мотивам, переосмысливая традиционные орнаменты, техники и силуэты в актуальном контексте. Этот тренд отражает глобальный интерес к культурному наследию, устойчивому развитию и индивидуальности. Основные проявления народных мотивов в современной моде использование традиционных вышивок. В 2025 году в моде популярны следующие его виды:

- растительные узоры, такие как цветы, листья, ветви, но с добавлением более ярких, насыщенных цветов;
- вышивка с использованием металлических нитей. Этот тренд придаёт одежде роскошный вид и особенно актуален для вечерних нарядов, платьев и костюмов;



Рисунок 5 – Генерации в нейросети «JAYFLOW.AI»

Figure 5 – Generation in JAYFLOW.AI neural network

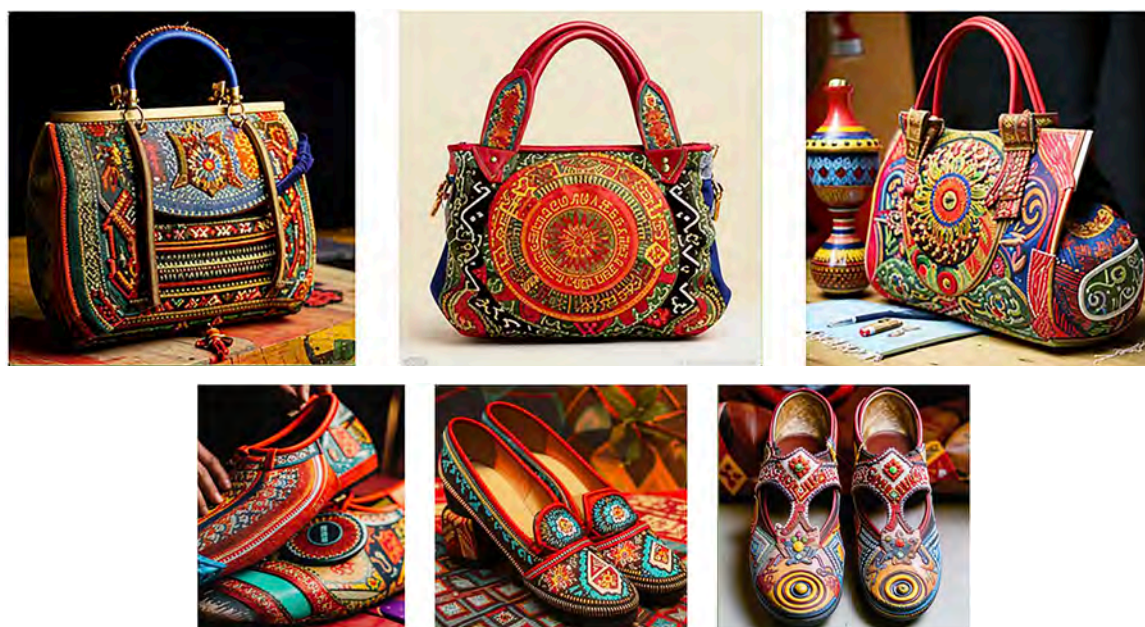


Рисунок 6 – Нейросети «Kandinsky»

Figure 6 – Kandinsky AI

– вышивка, основанная на этнических традициях различных народов. Среди популярных элементов – индийские мотивы с богатыми цветами и золотыми нитями, африканская геометрия, китайские символы удачи и изобилия, а также латинские цветочные орнаменты;

– вышивка с технологическими элементами. Традиционная ручная работа сочетается с новыми материалами, такими как светоотражающие нити, которые делают одежду более функциональной, или даже встраивание миниатюрных светодиодов в ткань.

Также в 2025 году актуальны ручная и машинная вышивка, при этом многие дизайнеры стремятся сочетать разные стили вышивки, используя как классические – традиционные, так и современные техники (славянская, индийская, скандинавская). Ручная вышивка, кружево, ткачество можем видеть в коллекциях брендов «Etro», «Stella McCartney», «Ulyana Sergeenko» и др. Популярны натуральные ткани (лён, хлопок, шерсть) и экологичные красители. В тренде остается лоскутное шитьё (пэчворк) как отсылка к народным ремёслам.

Рассматривая современные модели, в образах чаще используется контраст, например, классический крой, в сочетании с яркими цветовыми дополнениями, характерные для разных культур, например, мексиканские или азиатские ткани. Сохраняется тренд на аксессуары с этническими мотивами – это пояса, головные уборы, бижутерия, сумки.

Причины популярности этнической эстетики:

– ностальгия и поиск идентичности – в глобализированном мире люди стремятся найти себя и подчеркнуть свои корни;

– устойчивая мода – интерес к ручному труду и натуральным материалам;

– кросс-культурный обмен – смешение стилей, например, японский «бохо» или славянский «стрит-вир»;

– популяризация через соцсети – блогеры и селебрити поддерживают тренд.

Народные мотивы будут развиваться в сторону современных интерпретаций (минимализм + традиционная вышивка). Будет стремление к коллаборации с мастерами – сотрудничество брендов с народными умельцами. Цифровое воплощение – NFT-мода с этническими мотивами.

Этнические мотивы в современной моде – это некий «мост», способ диалога между традицией и современностью. Важно, чтобы этот тренд развивался с уважением к культурным истокам, а не превращался в поверхностное заимствование.

При разработке коллекции важно глубоко изучить

культурные особенности исследуемого народа, его традиционный уклад жизни и мировоззрение. Необходимо проанализировать народный костюм, его орнаментальные мотивы и характерную цветовую гамму, использовавшуюся в одежде, обуви и аксессуарах. Предпочтение стоит отдавать натуральным материалам, так как они лучше всего передают аутентичную фактуру и форму традиционного костюма. С помощью генеративного ИИ можно исследовать различные варианты цветовых решений, орнаментов и декоративных элементов, предлагая новые интерпретации. Изучая народную обувь, можно комбинировать её элементы с современными конструктивными решениями [12]. Такой синтез культурного наследия и актуального дизайна позволит создать востребованные модели, которые найдут отклик у современного потребителя.

В созданной авторской коллекции (рис. 7) за основу взят мокасина в конструкции, которой предусмотрено единство верхней части обуви со стелькой по всей длине и с носочной частью обуви на основе генераций «JAYFLOW.AI», «Шедеврум», «Kandinsky». В коллекции прослеживается линия от общего силуэта и декоративных элементов до мельчайших нюансов, включая выбор цветовой палитры. В коллекции преобладает цветовая палитра, характерная колориту народного костюма – красный, оранжевый, синий, голубой, розовый, черный. На основе анализа источника, были выбраны популярные орнаменты – геометрический и растительный. Симбиоз народного и современного в моделях коллекции, включая конструкции, цветовую гамму, орнаментальные мотивы одновременно создали и контраст, и общность через этнику, подчеркнув связь между прошлым и будущим.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При разработке коллекции следует учитывать уникальные культурные особенности каждого народа, необходимо детально изучить народный костюм, включая орнаментальные мотивы, цветовую палитру, материалы и другие особенности. Генерации в нейросетях, являясь инструментом, предложили большое количество возможных вариаций и идей для частичного использования их при разработке эскизной коллекции обуви и сумок. Изучение и анализ народных костюмов, включая обувь, аксессуары в симбиозе с искусственным интеллектом позволяют создать современные коллекции, сочетая в себе элементы культурного наследия с дальнейшей их интеграцией в современные конструкции, получая актуальную модель, которая найдет своего конкретного потребителя [13].



Рисунок 7 – Коллекция обуви и сумок на основе анализа народного костюма (фрагмент)

Figure 7 – Collection of shoes and bags based on the analysis of folk costume (fragment)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осмонова, Н. Ы. Сравнительно-исторический анализ национальных одежд казакского и кыргызского народов / Н. Ы. Осмонова // *Alatoo Academic Studies*. – 2021. – № 1. – С. 296-304. DOI 10.17015/aas.2021.211.36.
2. Назаров, И. И. Российско-кыргызстанские экспедиционные этнографические исследования в Республике / И. И. Назаров // *Известия Национальной Академии наук Кыргызской Республики*. – 2025. – № S1. – С. 168–173.
3. Наумова, Д. С. Народный костюм как неподвижный «консервант культуры» для проектировщика / Д. С. Наумова, М. И. Алибекова // *Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы: Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, Москва, 25–27 марта 2025 года*. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 124–129.
4. Мехтиева, Ш. М.к., Материальная и духовная культура национального костюма как источника вдохновения / Ш. М.к. Мехтиева, М. И. Алибекова // *Мотивы культурных традиций и народных промыслов в коллекциях современной одежды, обуви и аксессуаров: Сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, Москва, 07–11 ноября 2024 г.* – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2024. – С. 13–18.
5. Чабанова, А.В. Обувь и аксессуар как элемент идентичности в художественном образе / А. В.Чабанова, М. И. Алибекова // *Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы : Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, Москва, 25–27 марта 2025 года*. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 40–44.
6. Домрачева, Д. С. Связь народного костюма и современного. Единство образа, силуэта, формы, материала / Д. С. Домрачева, М. И. Алибекова // *II Сольбинские чтения: Традиции и новаторство в декоративно-прикладном искусстве и народном творчестве (в честь 25-летия возрождения Николо-Сольбинского женского монастыря): Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Сольба-Москва, 24–25 ноября 2024 г.* – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 25-34.
7. Мехтиева, Ш. М.к. Дизайн и технологии, ориентированные на сохранение и переосмысление традиций / Ш. М.к. Мехтиева, М. И. Алибекова // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. – 2025. – № 1-1(100). – С. 61–66.

DOI 10.24412/2500-1000-2025-1-1-61-66.

8. Клименко, М. И. Традиционные и современные инструменты в разработке современной коллекции в этническом стиле / М. И. Клименко, А. С. Дембицкая, М. И. Алибекова // *Инновации и технологии к развитию теории современной моды «Мода (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)»*: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посв. проф. Ф.М. Пармону и 95-летию «Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина», Москва, 08–09 апреля 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 76–82.

9. Жильникова Я. А., Алибекова М. И. Народный костюм как творческий источник для разработки современной коллекции обуви с использованием нейросетей / Я. А. Жильникова, М. И. Алибекова // *Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы*: Сборник научных трудов XI Международной научно-практической конференции, Москва, 25–27 марта 2025 года. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 99–105.

10. Голованева А.В., Белгородский В.С., Алибекова М.И., Андреева Е.Г. Углубленное использование нейросетей для создания модного образа / А. В. Голованева, В. С. Белгородский, М. И. Алибекова, Е. Г. Андреева // *Дизайн и технологии*. – 2023. – № 94(136). – С. 6–14.

11. Мехтиева Ш. М.к., Алибекова М. И. Анализ состояния современной моды и нейросетей / Ш. М.к. Мехтиева, М. И. Алибекова // *Инновации и технологии к развитию теории современной моды «Мода (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)»*: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посв. проф. Ф.М. Пармону и 95-летию «Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина», Москва, 08–09 апреля 2025 г. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 70–75.

12. Мехтиева Ш. М., Алибекова М. И. Инновационные технологии. Материалы. Новые инструменты в создании дизайнерского продукта / Ш. М.к. Мехтиева, М. И. Алибекова // *Легкая промышленность: проблемы и перспективы*: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Омск, 27–28 ноября 2024 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2024. – С. 142–149.

13. Алибекова М. И. Под крылом Университета Косыгина 95 лет / М. И. Алибекова // *Инновации и технологии к развитию теории современной моды «Мода (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)»*: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвящённой профессору Ф.М. Пармону и 95-летию «Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина», Москва, 08–09 апреля 2025 г. – Москва: Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, 2025. – С. 3–12.

REFERENCES

1. Osmonova NY. Comparative historical analysis of the national clothes of the Cossack and Kyrgyz peoples. *Alatoo Academic Studies*. 2021;1:296–304. DOI: 10.17015/aas.2021.211.36. (In Russ.)

2. Nazarov II. Russian-Kyrgyzstani expeditionary ethnographic research in the Republic. *Izvestiya Natsional'noy Akademii nauk Kyrgyzskoy Respubliki*. 2025;1:168–173. (In Russ.)

3. Naumova DS, Alibekova MI. Folk costume as a fixed "preservative of culture" for the designer. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologiy: opyt, praktika i perspektivy*: Sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technology: experience, practice and prospects: Collection of scientific papers of the XI international scientific and practical conference, March 25–27, 2025, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im.

A.N. Kosygina.; 2025:124–129. (In Russ.)

4. Mehtiyeva ShMk, Alibekova MI. The material and spiritual culture of national costume as a source of inspiration. In: *Motivy kul'turnykh traditsiy i narodnykh promyslov v kollektsiyakh sovremennoy odezhdy, obuvi i aksesuarov*: Sbornik nauchnykh trudov II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Motifs of cultural traditions and folk crafts in collections of modern clothes, shoes and accessories: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference, November 07–11, 2024, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2024:13–18. (In Russ.)

5. Chabanova AV, Alibekova MI. Shoes and accessories as an element of identity in an artistic image. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologiy: opyt, praktika i perspektivy* : Sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Fundamental and applied

scientific research in the field of inclusive design and technology: experience, practice and prospects: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference, March 25–27, 2025, Moscow. – Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:40–44. (In Russ.)

6. Domracheva DS, Alibekova MI. The connection between folk costume and modern. The unity of image, silhouette, form, and material. In: II Sol'binskie chteniya: Traditsii i novatorstvo v dekorativno-prikladnom iskusstve i narodnom tvorchestve (v chest' 25-letiya vozrozhdeniya Nikolo-Sol'binskogo zhenskogo monastyrya): Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = II Solba Readings: Traditions and Innovations in Decorative and Applied Art and Folk Art (in honor of the 25th anniversary of the revival of the Nikolo-Solba Convent): Collection of materials of the International Scientific and Practical Conference, Solba, November 24–25, 2024, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:25–34. (In Russ.)

7. Mehtiyeva Sh Mk, Alibekova MI. Design and technologies focused on the preservation and reinterpretation of traditions. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International journal of humanities and natural sciences*. 2025;1-1(100):61–66. DOI: 10.24412/2500-1000-2025-1-1-61-66. (In Russ.)

8. Klimenko MI, Dembitskaya AS, Alibekova MI. Traditional and modern tools in the development of a modern collection in ethnic style. In: Innovatsii i tekhnologii k razvitiyu teorii sovremennoy mody «Moda (Materialy. Odezhda. Dizayn. Aksessuary)»: Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posv. prof. F.M. Parmonu i 95-letiyu «Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.N. Kosygina» = Innovations and technologies for the development of the theory of modern fashion "Fashion (Materials. Clothes. Design. Accessories)": Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to Professor F.M. Parmon and the 95th anniversary of the Kosygin State University of Russia, April 08–09, 2025, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:76–82. (In Russ.)

9. Zhilnikova YaA, Alibekova MI. Folk costume as a creative source for developing a modern shoe collection using neural networks. In: Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologiy: opyt, praktika i perspektivy: Sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy

konferentsii = Fundamental and applied scientific research in the field of inclusive design and technology: experience, practice and prospects: Collection of scientific papers of the XI International Scientific and Practical Conference, March 25–27, 2025 Moscow, Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:99–105. (In Russ.)

10. Golovaneva AV, Belgorodsky VS, Alibekova MI, Andreeva EG In-depth use of neural networks to create a fashionable image. *Dizajn i tehnologii*. 2023;94(136):6–14. (In Russ.)

11. Mehtiyeva ShMk, Alibekova MI. Analysis of the state of modern fashion and neural networks. In: Innovatsii i tekhnologii k razvitiyu teorii sovremennoy mody «Moda (Materialy. Odezhda. Dizayn. Aksessuary)»: Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posv. prof. F.M. Parmonu i 95-letiyu «Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.N. Kosygina» = Innovations and technologies for the development of the theory of modern fashion «Fashion (Materials. Clothes. Design. Accessories)»: Collection of materials of the V International Scientific and practical conference dedicated to professor F.M. Parmon and the 95th anniversary of the Kosygin State University of Russia, April 08–09, 2025, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:70–75. (In Russ.)

12. Mehtiyeva ShMk, Alibekova MI. Innovative technologies. Materials. New tools in creating a design product. In: Legkaya promyshlennost': problemy i perspektivy: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Light industry: problems and prospects: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, November 27–28, 2024, Omsk. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet; 2024:142–149. (In Russ.)

13. Alibekova MI. Under the wing of Kosygin University for 95 years. In: Innovatsii i tekhnologii k razvitiyu teorii sovremennoy mody «Moda (Materialy. Odezhda. Dizayn. Aksessuary)»: Sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy professoru F.M. Parmonu i 95-letiyu «Rossiyskogo gosudarstvennogo universiteta im. A.N. Kosygina» = Innovations and technologies for the development of the theory of modern fashion "Fashion (Materials. Clothes. Design. Accessories)": Collection of materials of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to Professor F.M. Parmon and the 95th anniversary of the Kosygin State University of Russia, April 08–09, 2025, Moscow. Moscow: Rossiyskiy gosudarstvennyy universitet im. A.N. Kosygina; 2025:3–12. (In Russ.)

Сведения об авторах

Алибекова Марият Исмаиловна

Доктор искусствоведения, доцент, заведующий кафедрой Спецкомпозиции и художественной графики, ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина», г. Москва, Российская Федерация

E-mail: mariyat-alibekova@yandex.ru

Мехтиева Шафига Мазахир кызы

Аспирант ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина», г. Москва, Российская Федерация

E-mail: shafiga.mekhtiyeva@mail.ru

Information about the authors

Mariyat I. Alibekova

Doctor of Art History, Assoc. Prof., Head of the Department of Special Composition and Art Graphics of the Kosygin State University of Russia, Moscow, Russian Federation

E-mail: mariyat-alibekova@yandex.ru

Mariyat I. Alibekova

Doctor of Art History, Assoc. Prof., Head of the Department of Special Composition and Art Graphics of the Kosygin State University of Russia, Moscow, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 23.10.2025.

Машинная вышивка в производстве капсульных коллекций одежды романтического стиля: на примере бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Н. В. Иголкина

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ), г. Омск, Российская Федерация

Аннотация. Статья раскрывает этапы, методы и технологические аспекты производства дизайнерского декора коллекций одежды сегмента премиум. Актуальность данного вопроса заключается в особенностях внедрения нестандартных вышивок и техник декорирования в промышленный дизайн и подходе к их разработке, отличном от сегмента массмаркет и люкс. Брендированная одежда должна чётко соответствовать авторскому стилю, а декор обогащать изделие как в идейно-смысловом, так и художественно-композиционном качестве. В тексте статьи обозначены возможные сложности, с которыми сталкиваются дизайнеры-программисты, и на что следует обратить внимание при работе с эксклюзивной компьютерной вышивкой. Тема раскрыта на примере российского бренда женской одежды «ALEXANDER BOGDANOV», выпускающего два раза в год капсульные коллекции преимущественно романтического стиля. Изделия данной марки отличаются сложной цветовой гаммой, использованием различных материалов и утонченными декоративными решениями. Автор статьи имеет многолетний опыт работы на производстве данного бренда в качестве дизайнера по декору и руководителя вышивального подразделения. В связи с чем текст статьи имеет практическую значимость и может быть полезен дизайнерам одежды и дизайнерам-программистам машинной вышивки. Возможности современного вышивального оборудования позволяют воплотить различные художественные запросы, тем самым выделить авторские коллекции на рынке за счет эксклюзивных текстильных декоративных решений. В масштабах производства следует учитывать не только эстетическую ценность изделий, но и технологические нюансы. Это немаловажная часть, которую должны учитывать специалисты дизайнеры компьютерной вышивки при разработке нестандартных решений.

Ключевые слова: машинная вышивка, декор, текстильный дизайн, бренд, авторская коллекция, компьютерная вышивка.

Machine Embroidery in the Production of Capsule Collections of Romantic-Style Clothing: Using the Example of ALEXANDER BOGDANOV Brand

Natalia V. Igolkina

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Omsk State Technical University", Omsk, Russian Federation

Abstract. The article reveals the stages, methods and technological aspects of the production of designer decor for premium clothing collections. The relevance of this issue lies in the specifics of the introduction of non-standard embroidery and decoration techniques into industrial design and an approach to their development that differs from the mass market and luxury segment. Branded clothing should clearly correspond to the author's style, and the decor should enrich the product in both ideological and semantic, as well as artistic and compositional quality. The text of the article outlines the possible difficulties faced by software designers, and what attention should be paid to, when working with exclusive computer embroidery. The topic revealed using the example

of the Russian women's clothing brand ALEXANDER BOGDANOV, which produces capsule collections of a predominantly romantic style twice a year. The products of this brand are characterized by a complex color scheme, the use of various materials and sophisticated decorative solutions. The author of the article has many years of experience in the production of this brand as a decor designer and head of the embroidery department. In this regard, the text of the article is of practical importance and may be useful to clothing designers and computer embroidery designers. The capabilities of modern embroidery equipment make it possible to embody various artistic requests, thereby highlighting the author's collections on the market due to exclusive textile decorative solutions. The scale of production should take into account not only the aesthetic value of the products, but also the technological nuances. This is an important part that computer embroidery designers should take into account when developing non-standard variations.

Keywords: machine embroidery, decor, textile design, brand, design collection, computer embroidery.

ВВЕДЕНИЕ

Вышивка является одним из самых древних методов декорирования текстиля и одежды. В современной моде она занимает значительную роль, особенно в эксклюзивном дизайнерском продукте. В условиях масштабного производства речь идет именно о машинной вышивке. Ручные методы декорирования не способны удовлетворить современные требования относительно объема выпускаемой продукции, сроков, экономической выгоды и остаются прерогативой изделий класса люкс.

Для бренда одежды ценового сегмента Middle up, такого как «ALEXANDER BOGDANOV», очень важно, чтобы вышивка была эксклюзивной, авторской, соответствовала стилистической направленности и похожа на ручные техники декорирования. Возможности программирования цифровой машинной вышивки позволяют воплотить сложные авторские дизайны, привнести новые свойства за счет эксклюзивного решения в фактурах, материалах, техниках. Вышивка является более дорогим методом выполнения текстильных дизайнерских решений, чем печать на тканях. С помощью интересного декора возможно создавать модные решения в дизайне как повседневной, так и нарядной одежды.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Современное вышивальное оборудование позволяет производить качественные вышивки в различных техниках таких как вышивка гладью и татами, вышивка блестками, стразами, лентами, бисерной нитью, шнурами, тесьмой; 3D-вышивка, вышивка Ришелье, вышивка с использованием лазерной вырубки, бестканевая вышивка, рулонная вышивка [1]. Благодаря возможному многообразию техник компьютерной вышивки, соответствующее современное вышивальное оборудование способно удовлетворить различные дизайнерские запросы в масштабах производства. В статье рассмотрены примеры работ, выполненных на японских многоигольных

машинах Tajima типа TMAR и TLMX с функциями кординга и пришивания пайеток.

Федеральный российский бренд женской одежды «ALEXANDER BOGDANOV», основанный в 1988 году в Омске, отличается тонкими и изящными решениями относительно текстильного дизайна и сочетания различных по свойствам материалов, сложной цветовой гаммой, женственностью и приверженностью к романтическому стилю (рис. 1 а, б). Клиенты бренда выбирают изделия, соответствующие стилистическим характеристикам, эксклюзивностью и качеству продукта. Поэтому и при разработке декора очень важно соответствие выше описанным требованиям.

Для дизайнера, разрабатывающего текстильные решения и программы компьютерной вышивки, стоит непростая задача. При создании декора важно сохранить стилистическую принадлежность к романтическому направлению, соответствие цветовой гамме капсул, сложные оттеночные переходы, градации полутонов и фактур, сочетаемость с принтами и тканями коллекции [4]. Немаловажно учитывать производственные сроки для своевременных поставок продукции. Выполнение таких требований возможно с учетом правильного подхода к проектированию вышивки в капсулах. Следует выделить несколько этапов при разработке дизайнерского декора:

1. Поиск референсов и мотивов, соответствующих заданной теме коллекции [2].
2. Выборка мотивов и сортировка по темам капсул.
3. Выбор техник нанесения декора в соответствии с ассортиментными группами, ассортиментной матрицей и расположением вышивки.
4. Подбор материалов для вышивки: нитей, пайеток, пряжи, соответствующих цветов.
5. Стилизация и оцифровка мотивов в соответствии с выбранными техниками.
6. Запуск пробных образцов.

7. Корректировка программ и замена некоторых материалов для создания многообразия в выборе нужного образца.

8. Утверждение вышивки в экспериментальном образце.

После утверждения дизайна и определения количества производимых изделий декор запускается в производство. Для этого иногда требуется корректировка программ вышивки, но без потери визуального сходства с образцом.



а (a)



б (b)

***Рисунок 1 – Модели коллекции «ALEXANDER BOGDANOV» с вышитым декором:
а – вышивка мохером и текстурированной пряжей;
б – вышивка мохером, текстурированной пряжей, пайетками и вышивальными нитями**

**Figure 1 – Models of the ALEXANDER BOGDANOV collection with embroidered decor:
а – mohair and textured yarn embroidery;
б – embroidery with mohair, textured yarn, sequins and embroidery threads**

*В статье использованы фотографии из архива компании ALEXANDER BOGDANOV.

Первые два этапа разработки текстильных образцов происходит с дизайн-командой. Определенные мотивы должны соответствовать теме коллекции, дизайнеры по принтам стилизуют выбранные элементы для создания купонов и раппортов печатных тканей [9]. Дизайны вышивки могут быть заимствованы с разработанных принтов, либо спроектированы дизайнером по декору, также исходя из смыслового направления капсул. Техники нанесения декора выбирают в соответствии с ассортиментом и используемыми материалами.

Немаловажную роль имеет принцип размещения декора в изделии. По принципу размещения на изделии декор делится на следующие типы: съемный декор (броши), аппликация и вышивка на материале изделия [5]. Броши чаще всего представляют собой декор, собранный из нескольких вышитых слов, или объемный декор, выполненный при помощи сложных техник пришивания таких материалов как шнуры, ленты, бисер, объемная текстурированная пряжа (по типу ровницы или букле), пайетки. Съемные аксессуары могут быть как самостоятельным изделием, так и входить в комплект к определенной ассортиментной единице в зависимости от дизайнерской задумки (рис. 2). Интересные решения вышитых брошей достигаются за счет грамотно подобранных материалов и техник исполнения. Такой декор соответствует романтическому стилю бренда и вносит большую привлекательность изделиям.



Рисунок 2 – Вышитая брошь из коллекции бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Figure 2 – An embroidered brooch from the collection of the ALEXANDER BOGDANOV brand

Аппликативный декор чаще всего представляет собой шевроны либо вышивки, которые сложно разместить на основной ткани без использования стабилизатора. Преимущество настрочного декора заключается в возможности использования различных техник таких как кординг, пришивание пайеток, бисерной ленты, а также интересных интерпретаций глади и застилов без травмирования основной ткани во время шитья и напяливания материала. Шевроны чаще изготавливаются из плотной дублированной ткани и используются для верхнего ассортимента. В авторских коллекциях основной упор при проектировании такого декора делается на графическую и композиционно-смысловую составляющую [10]. При разработке настрочного декора на сетке используются сложные интерпретации застилов, разряженной плотности, контурные вышивки или вышивка текстурированными материалами (рис. 3).



Рисунок 3 – Вышивка на сетке, настрочной (аппликативный) метод размещения.

Из коллекции бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Figure 3 – Embroidery on a grid, a customized (applicative) method of placement.

From the collection of the ALEXANDER BOGDANOV brand

Также особый интерес может вызвать бестканевая вышивка. Она создается на водорастворимой пленке и требует специального метода программирования, чтобы после удаления основы мотив сохранил форму. Вышивка без основы может быть, как съёмным декором, так и настрачиваться на изделие (рис. 4).



Рисунок 4 – Бестканевая вышивка на нарядном платье из коллекции бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Figure 4 – Non-woven embroidery on an elegant dress from the collection of the ALEXANDER BOGDANOV brand

Вышивка на ткани самого изделия имеет свои художественные ценности. В зависимости от сочетания основы, наносимых материалов и техники вышивка может добавлять в изделие различные визуальные эффекты. Имитация рельефного рисунка может быть достигнута за счет плотных застилов и подобранных цветов нитей в тон основы. Вышивка на таких материалах как футер и неопрен за счет структуры ткани также дает ощущение рельефа, подкладывание объемных материалов под или на основу усиливает этот эффект. Вышивки сложными техниками и текстурированными материалами могут

быть как контрастными по цвету, так и в тон основной ткани. В первом случае декор считается как принт и подчеркивает форму мотива и элементов, делает его акцентным, во втором случае вышивка подчеркивает богатство фактуры, позволяя выполнить однотонные изделия с интересным дизайнерским решением (рис 5, 6). Вышивка на тонком материале для премиальных изделий чаще наносится без стабилизатора ткани, что требует качественной настройки оборудования. Такая вышивка может создавать эффект кружева, сочетать в себе разные по свойствам нити, пайетки и шнуры: металлизированные, матовые, глянцевые и т. д.

Для выделенного ассортимента коллекции определяют техники нанесения и желаемые декоративные эффекты. При разработке декора к изделию происходит подбор необходимых по цвету, качеству и фактуре материалов. Стилизация мотива должна быть авторской, современной, соответствовать стилю бренда. [7]

Основной задачей дизайнера выступает грамотная оцифровка стилизованного мотива. Оцифровка (digitizing) – это процесс перевода графического изображения в цифровой файл, который может считать вышивальная машина. Оцифрованные файлы для вышивки отличаются от обычной векторной графики, которая строится на масштабируемых линиях и формах. Каждый такой файл содержит подробнейшую информацию о типе стежка, заданной траектории движения рамы, плотности застила, последовательности смены цвета и, соответственно, переводятся в формате 1:1. В связи с этим, при первом запуске программы экран калибруют. Программное обеспечение «Tajimaby Pulse» позволяет выбрать функцию 3D для просмотра проектируемого декора, однако при использовании определенных материалов, таких как ленты, шнуры, текстурированная пряжа, понять итоговое визуальное решение сложно (рис. 7).

Для нестандартной вышивки возможно создание дополнительных предварительных пробных фрагментов. При оцифровке элементов очень важно не потерять нужную стилистику. Так как вышивка берет свое начало из народной культуры, использование определенных техник и застилов может привести к превалированию этнического стиля в декоре [3]. В рамках создания дизайнов для романтических коллекций – это недопустимо. Для сохранения стилистической направленности следует использовать различные художественные эффекты, такие как: растяжки цветов, градиентная плотность застила, эффекты неровных краев, контурные стежки и тонкие линейные вышивки и т. д. [8]. Иногда, для создания многообразия вариантов по одной программе создаются несколько дизайнов за счет смены



Рисунок 5 – Вышивка на основной ткани изделия из коллекции бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Figure 5 – Embroidery on the main fabric of the product from the collection of the ALEXANDER BOGDANOV brand



Рисунок 6 – Фрагмент вышивки на основной ткани изделия из коллекции бренда «ALEXANDER BOGDANOV»

Figure 6 – A fragment of embroidery on the main fabric of a product from the collection of the ALEXANDER BOGDANOV brand

цветов нитей или изменения основы вышивки. Выбор итогового варианта происходит после нескольких пробных выполнений, количество которых зависит от сложности поставленной задачи, опыта дизайнера-программиста, используемых материалов, настройки оборудования и множества других факторов. Плотность застилов, длина стежка, наличие и типы каркасных строчек, правильно выбранные типы закрепок, последовательность элементов вышивки и смены цветов в программе – это лишь малая часть технологических знаний, необходимых для программирования вышитого декора [6]. Владение данной специализированной информацией и опытом позволяет выполнить качественный полуфабрикат, который не составит сложности при дальнейшем производстве партии.

По методу производства вышивки можно выделить такие варианты как: вышивка на заготовках кроя (или полотне), вышивка на деталях кроя, вышивка на готовом изделии и рулонная вышивка. На полотне вышивают съемный, настрочной декор и вышивки на основной ткани. В первых двух вариантах декоративные элементы после вышивки и влажно-тепловой обработки вырезают по контуру. Мотивы располагают так, чтобы в одни пальцы вошло как можно больше единиц. Вышивка на полотне ткани-основы изделия подразумевает нанесение рисунка до кроя по лекалам, что позволяет расположить вышивку близко к краю конструктивной детали или даже увести ее в шов изделия при пошиве. Вышивка на деталях кроя возможна при определенном расположении и величине рисунка, когда допустимо натянуть раскроенную деталь, а участок нанесения вышивки проходит в пальцы. При таком варианте производства на детали кроя предварительно отмечают точку, относительно которой выставляют иглу перед стартом вышивки. В свою очередь, в компьютерной программе также отмечают точку запуска программы относительно запрограммированного дизайна. Вышивка на готовом изделии в производстве используется крайне редко. Для рулонной вышивки нужен соответствующий тип вышивальных машин и техника выполнения подразумевает равномерное нанесение раппорта на ткань основу.

В зависимости от метода производства вышивки отрабатывается программа для партии. Если вышивка расположена на основной ткани изделия, возможна градация по размерам или размерным группам. При отработке программы дизайнер проверяет наличие закрепок в необходимых участках, последовательность смен цвета и по возможности минимизирует количество обрезков. Если вышивка производится на полотне для дальнейшего кроя деталей, то программист просчитывает раппорт мотивов, который пройдет в рамы или пальцы.

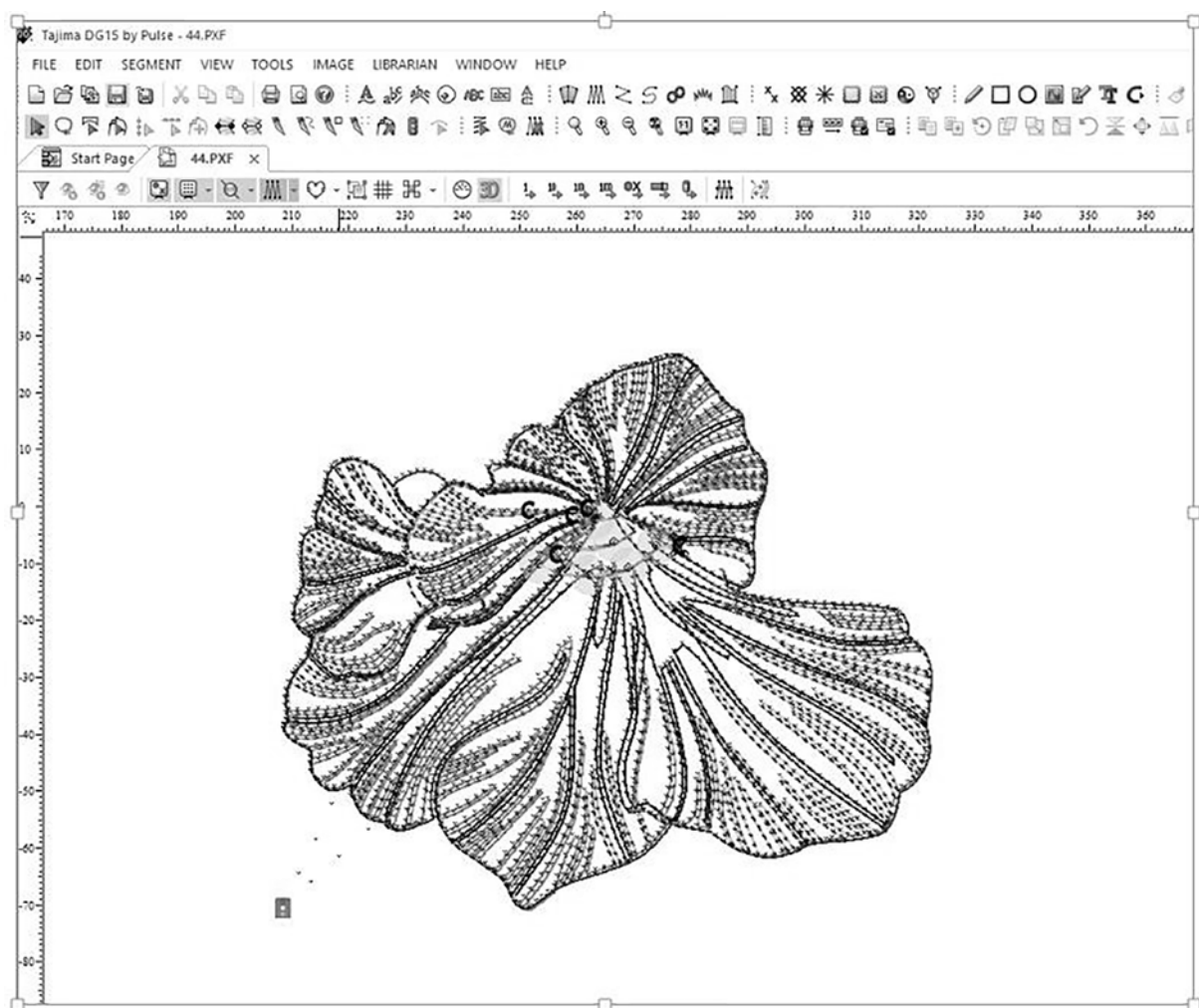


Рисунок 7 – Разработка дизайна вышивки в программе Tajima By Pulse

Figure 7 – Embroidery design development in the Tajima By Pulse software program

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Машинная вышивка в производстве дизайнерских премиальных изделий – сложный, но интересный процесс, который требует соответствующего технического оснащения, специализированных знаний, художественного вкуса и смелости в экспери-

ментах. Исходя из потребительского спроса клиентов марки «ALEXANDER BOGDANOV» можно сказать, что машинная компьютерная вышивка удовлетворяет требованиям, стилистической и художественной значимости коллекций бренда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипова, А. А. Основы производственного мастерства. Машинная вышивка в Fashion-дизайне / А. А. Архипова. – Краснодар: НИЦ Априори, 2014. – 104 с.
2. Calver, A The V&A Sourcebook of Pattern and Ornament. – London: Thames & Hudson, 2023. – 400 p.
3. Камнева, С. Ю. Современное искусство художественной вышивки: основные тенденции развития / С. Ю. Камнева // *Традиционное прикладное искусство и образование*. – 2016. – № 4. – С. 12–17. https://dpio.ru/arxiv/v1/v6_4.htm
4. Камнева, С. Ю. Технологические и художественные направления в современном искусстве художественной вышивки / С. Ю. Камнева // *Традици-*

онное прикладное искусство и образование. – 2018. – № 3. – С. 126–132. http://dpio.ru/stat/2018_3/2018-03-18-Kamneva-Tehnol-i-hud-napravleniya.pdf.

5. Лончинская, Т. Е. Машинная вышивка / Т. Е. Лончинская, Т. М. Носань, К. А. Киятов. – Санкт-Петербург: Высшая школа народных искусств, 2016. – 96 с.

6. Салихова, М. В. Инновационные технологии в изготовлении ручной и машинной вышивки / М. В. Салихова // *Вестник магистратуры*. – 2019. – № 11 – 4 (98). – С. 25–26. https://www.magisterjournal.ru/docs/VM98_4.pdf.

7. Соснина, Н. О. Декор в современном костюме. Возможности и перспективы [Электронный ресурс] / Н. О. Соснина, Ю. Л. Герасимова, М. Р. Тимофеева, Э. В. Васильева // *Костюмология*. – 2019. – Т.4 – № 1. Режим доступа: [https://](https://magisterjournal.ru/docs/VM98_4.pdf)

magisterjournal.ru/docs/VM98_4.pdf (In Russ.)

8. Черняева, И. Ю. Художественная вышивка / И. Ю. Черняева. – Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2019. – 121 с.

9. Широковских, М. С. Морфология и мифология ленинградского текстиля / М. С. Широковских // *Studia Slavica Et Balcanica Petropolitana*. – 2023. – №2 (34). – С. 169–186. DOI: 10.21638/spbu19.2023.209.

10. Широковских, М. С. Роспись по ткани: история, технология и роль в развитии ленинградской школы художественного текстиля // *Вестник Санкт-Петербургского университета. Искусствоведение*. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 93–116. DOI: 10.21638/spbu15.2025.106.

REFERENCES

1. Arkhipova AA. Fundamentals of production skills. Machine embroidery in Fashion design. Krasnodar: NITs Apriori; 2014:104. (In Russ.)

2. Calver A. The V&A Sourcebook of Pattern and Ornament. London: Thames & Hudson; 2023:400.

3. Kamneva SY. Modern art of embroidery: the basic tendencies of its development. *Tradicionnoe prikladnoe iskusstvo i obrazovanie*. 2016;4(19):12–17. https://dpio.ru/arxiv/v1/v6_4.htm (In Russ.)

4. Kamneva SY. Technological and artistic trends in contemporary art of artistic. *Tradicionnoe prikladnoe iskusstvo i obrazovanie*. 2018;3:126–132. http://dpio.ru/stat/2018_3/2018-03-18-Kamneva-Tehnol-i-hud-napravleniya.pdf (In Russ.)

5. Lonchinskaya TE, Nosan TM, Kiyatov KA. Machine embroidery. St. Petersburg: Vysshaya shkola narodnykh iskusstv; 2016:96. (In Russ.)

6. Salikhova MV. Innovative technologies in the production of hand and machine embroidery // *Vestnik magistratury*. 2019;11-4(98):25–26. <https://www>.

magisterjournal.ru/docs/VM98_4.pdf (In Russ.)

7. Sosnina NO, Gerasimova JuL, Timofeeva MR, Vasileva EV. Decor in a contemporary costume design. Opportunities and perspectives. *Kostumologija = Journal of Clothing Science*. 2019;4(1). Available from: <https://kostumologiya.ru/PDF/03IVKLL119.pdf> [Accessed 30 October 2025] (In Russ.)

8. Chernyaeva IY. Khudozhestvennaya vyshivka = Artistic embroidery. Moscow, Berlin: Direct-Media; 2019:121. (In Russ.)

9. Shirokovskikh MS. Morphology and mythology of Leningrad textiles. *Studia Slavica Et Balcanica Petropolitana*. 2023;2(34):169–186. DOI: 10.21638/spbu19.2023.209. (In Russ.)

10. Shirokovskikh MS. The Painting on fabric: history, technology and role in the. development of the leningrad school of artistic textiles. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Iskuststvovedenie = Vestnik of Saint Petersburg University. Arts*. 2025;15(1): 93–116. DOI: 10.21638/spbu15.2025.106. (In Russ.)

Сведения об авторах

Иголкина Наталья Владимировна

Старший преподаватель кафедры дизайна костюма Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Омский государственный технический университет» (ОмГТУ) г. Омск, Россия

E-mail: zholli@yandex.ru

Information about the authors

Natalia V. Igolkina

Senior Lecturer, Department of Costume Design, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Omsk State Technical University”, Omsk, Russia

E-mail: zholli@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 03.11.2025.

Разработка и внедрение анимированных баннеров в банковской сфере: дизайн, технологии, восприятие

А. В. Попова, Учреждение образования «Витебский государственный
К. О. Литвинчук технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

Аннотация. В работе рассматриваются особенности разработки и применения анимированных баннеров для банка как инструмента визуальной коммуникации в цифровой среде. Анализируются структурные и композиционные решения, включающие 2D-графику и 3D-сцены, лицензионные видеоматериалы и типографика, обеспечивающие мультимедийное воздействие на целевую аудиторию. Особое внимание уделено принципам модульности, семиотической согласованности и использованию эмоциональных акцентов, которые позволяют объединять информативность с эстетико-эмоциональной выразительностью. Выявлено, что анимированные баннеры выполняют не только функцию передачи основных сообщений, но и способствуют формированию целостного имиджа банка, повышению уровня доверия и активного участия целевой аудитории. Методы исследования – литературно-обзорный, аналитический, сравнительный, метод аналогии, проектный, эмпирический, визуально-семиотический. Практическая значимость исследования заключается в определении методологических подходов к проектированию анимационной рекламы для банка, которые могут быть использованы при разработке визуальных стратегий финансовых и коммерческих организаций. Результатом работы являются оригинал-макеты серии анимированных баннеров для Альфа-Банка, предназначенные для привлечения новых клиентов, повышения эффективности продвижения банковских продуктов и услуг, а также укрепления имиджа бренда как современного и технологичного участника финансового рынка.

Ключевые слова: анимированные баннеры, Альфа-Банк, 3D-элементы, 2D-графика, современные тенденции, заставки, сценарий, фирменный стиль.

Development and Implementation of Animated Banners in Banking Sector: Design, Technology, Perception

Alexandra V. Popova, Educational institution "Vitebsk State Technological University",
Kristina O. Litvinchuk Vitebsk, Republic of Belarus

Abstract. The paper examines the features of the development and application of animated banners for the bank as a visual communication tool in a digital environment. Structural and compositional solutions are analyzed, including 2D graphics and 3D scenes, licensed video materials and typography, providing multimedia impact on the target audience. Special attention is paid to the principles of modularity, semiotic consistency and the use of emotional accents, which make it possible to combine informativeness with aesthetic and emotional expressiveness. It is revealed that animated banners perform not only the function of transmitting basic messages, but also contribute to the formation of a holistic image of the bank, increasing the level of trust and active participation of the target audience. The research methods are literary review, analytical, comparative, method of analogy, design, empirical, visual-semiotic. The practical significance of the research lies in the definition of methodological approaches to the design of animated advertising for the bank, which can be used in the development of visual strategies of financial and commercial organizations. The result of the work is the original layouts of a series of animated banners for Alfa-Bank, designed to attract new customers, increase the effectiveness of promoting banking products and services, as well as strengthen the brand's image as a modern and technologically advanced participant in the financial market.

Keywords: animated banners, Alfa-Bank, 3Delements, 2Dgraphics, modern trends, screensavers, script, corporate identity.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования связана с тем, что разработка анимированных рекламных баннеров для банка отражает современные тенденции в области маркетинга, способствует более эффективному взаимодействию финансовых организаций с пользователями, что в свою очередь способствует расширению аудитории и улучшает имидж бренда. Анимированные баннеры позволяют привлекать внимание целевой аудитории за счет динамичного контента, который выделяется на фоне статичных изображений. Они способны передавать сложные идеи и предложения в сжатом формате, что делает информацию более доступной и понятной. Кроме того, использование анимации помогает создать эмоциональную связь с потребителем, что способствует формированию доверия к бренду. Анимационные баннеры также могут быть адаптированы под различные платформы и устройства, что позволяет охватить более широкую аудиторию. Важно отметить, что такие баннеры могут быть использованы для продвижения различных банковских продуктов и услуг, включая кредитные предложения, депозитные программы и акции, что делает их универсальным инструментом в арсенале маркетинга [1].

Объектом исследования являются анимированные баннеры как форма цифровой рекламы в банковской сфере, включающая анимационные и видеорекламные материалы, а также различные типы видеобаннеров, применяемые для продвижения банковских продуктов и услуг.

Предметом исследования являются особенности анимированных баннеров в банковской сфере, рассматриваемых как маркетинговый инструмент, где анализируются их характеристики и разрабатываются подходы к созданию и применению для повышения результативности рекламы. Для разработки анимированных баннеров необходимо провести ряд исследований, используя следующие методы: литературно-обзорный, аналитический, сравнительный, метод аналогии, проектный, эмпирический, визуально-семиотический.

Целью является проектирование анимированных баннеров для Альфа-Банка в Беларуси, опираясь на современные тенденции в области графического дизайна и анимации, учитывая потребности целевой аудитории и специфику банковских услуг.

Задачами является:

- изучение специфики и процесса создания медиапродукта;
- выработка практических навыков ведения работы над проектом, работа с дизайн-концептом;

- создания предпроектного анализа;
- сбор аналогов по теме;
- составление мудборда, проработка концептов для проекта;
- отрисовка 2D- и 3D-элементов;
- подбор сочетаний шрифтов;
- подбор цветовой палитры для дизайн-проекта;
- выполнение анимированных баннеров для банка.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Используя литературно-обзорный метод, были проанализированы научные публикации, статьи по графическому дизайну, анимации и цифровому маркетингу, что позволило определить теоретическую базу для разработки анимированных баннеров. Также были выявлены особенности, присущие оформлению и структуре баннеров, которые необходимо для того, чтобы готовый дизайн органично вписался в рекламную кампанию и не нарушал целостность общей визуальной стратегии [2].

Наиболее подробно вопросы разработки и восприятия анимационной рекламы освещены в работах таких исследователей и практиков, как Ричард Фелтон «Digital Advertising Design», Дэвид Кроу «Visible Signs: An Introduction to Semiotics in the Visual Arts», Гэвин Лукас «Motion Graphics: Principles and Practices» и Эндрю Блэкман «The Art of Digital Animation». Особое внимание значению анимационных баннеров в продвижении брендов и формировании визуальной идентичности уделено в трудах Ф. Котлера, Ж. Бодрийера, Д. Аакера, а также в исследованиях А. Випперфюрта, Л. Чернатони и Дж. Траута, где рассматриваются вопросы эмоционального воздействия, дифференциации бренда и эффективности коммуникации в цифровой среде.

Аналитический метод включает этап предпроектного анализа в дизайн-исследовании, где изучается тематика, цветовое решение, типографика, анимационные приемы, структура сообщения [4]. Анимированные баннеры должны сочетать в себе функциональность и практичность, с выразительным и привлекательным графическим решением. Они должны эффективно привлекать внимание целевой аудитории, быть разработанными с особой тщательностью для передачи сообщения, формировать представление о продвигаемом продукте и соответствовать общему имиджу [3].

Анимированные баннеры – эффективный инструмент для привлечения внимания в цифровой среде.

Внедрение 3D-элементов и динамичной 2D-графики позволяет выделиться на фоне конкурентов. В условиях стремительного развития интернет-коммуникаций и увеличения роли онлайн-рекламы эффективность привлечения целевой аудитории и формирование положительного имиджа финансового учреждения требуют использования современных визуальных решений. Они представляют собой динамичный и привлекательный формат рекламных материалов, позволяющий не только повысить узнаваемость бренда, но и эффективно донести ключевые коммерческие предложения банка. Разработка профессиональных анимированных рекламных элементов является важным инструментом повышения эффективности маркетинговых стратегий, укрепления доверия потребителей и обеспечения конкурентоспособности банка на современном рынке финансовых услуг.

Важное значение в создании анимированных баннеров играет эргономика и заключается в том, чтобы обеспечить удобство восприятия информации пользователями, минимизировав когнитивные и физические нагрузки, что подразумевает создание визуально привлекательных и понятных сообщений, которые легко воспринимаются целевой аудиторией [1]. Для достижения поставленных целей в эффективности восприятия анимированных баннеров следует учитывать несколько ключевых принципов – простота и ясность, визуальная иерархия, контраст и цветовая палитра, динамика анимации, интерактивность. Эффективная эргономика анимированных баннеров требует комплексного подхода, учитывающего как психологические аспекты восприятия, так и технические возможности реализации для создания более эффективных рекламных материалов. Разработка анимированных баннеров, направленная на оптимизацию пользовательского опыта, может существенно повысить их эффективность и способствовать достижению маркетинговых целей банка. Понимание и применение принципов эргономики в дизайне анимированных баннеров позволяют значительно улучшить взаимодействие пользователей с рекламным контентом, повышая уровень их удовлетворенности и вовлеченности. Это делает эргономику ключевым компонентом в разработке эффективных онлайн-рекламных стратегий в банковском секторе.

Каждый анимированный баннер состоит из нескольких ключевых элементов, которые в совокупности формируют его визуальную и функциональную составляющую. К ним относятся фон, который задает общую атмосферу и контекст; анимация, придающая динамичность и живость; графические объекты, иллюстрирующие тематику и содержание; текст, передающий основное сообщение; интерактивные объекты, позволяющие пользователю взаимодей-

ствовать с баннером; и элементы, указывающие на принадлежность баннера конкретному бренду, которые обеспечивают прозрачность и доверие [5].

Для разработки анимированных баннеров важным аспектом стал анализ конкурентной среды и изучение успешных примеров анимационных баннеров в финансовом секторе, что позволило выработать уникальные решения, способствующие повышению узнаваемости и доверия к банку. Также было проведено исследование рекламных материалов в данной категории, где изучались графические элементы, иллюстрации и ключевые сообщения. Дополнительно был проведен анализ тенденций и актуальных стилей в области анимированной рекламы, что позволило выявить характерные особенности этого формата и определить приемы, которые обеспечивают эффективную коммуникацию. На основе полученных данных была сформирована концепция анимированных баннеров, способных привлечь внимание целевой аудитории, выделиться среди конкурентов и органично вписаться в визуальную стратегию бренда [4].

На этапе сравнительного метода было применено сопоставление анимированных баннеров, которые используются различными банками. Были выявлены общие и отличительные черты в визуальном стиле, а также технические характеристики. На концептуальном этапе сравнительный анализ помог определить, какие приемы оказываются наиболее эффективными для привлечения внимания и удержания целевой аудитории [4].

В процессе проектного метода были учтены принципы визуальной иерархии, цветовой палитры и типографики, 3D- и 2D-элементов, а также адаптивность баннеров для различных платформ и устройств. Проект направлен на создание привлекательного и запоминающегося контента, который не только привлечет внимание потенциальных потребителей, но и эффективно донесет ключевые сообщения и ценности бренда [6].

Альфа-Банк является одним из ведущих и наиболее инновационных финансовых институтов на рынке. В условиях современной конкуренции в банковской сфере акцент на цифровизацию и технологическую адаптацию становится ключевым фактором успеха, а разработка эффективных рекламных коммуникаций в виде анимированных баннеров позволяет подчеркнуть преимущества банка, его инновационный подход и ориентацию на потребности современного потребителя.

В проекте определены следующие подходы к разработке визуальной составляющей анимированных баннеров:

– использование 3D-сцен с финансовой символикой (монеты, карты, графы роста);

- минималистичная 2D-анимация с акцентом на UX-элементы (кнопки, переходы);
- корпоративный стиль Альфа-Банка;
- цветовая палитра: красный, белый, черный;
- шрифты: Sans-serif (Akzidenz-Grotesk, аналоги);
- ключевые сообщения: «Надежность», «Инновации», «Простота» (рис. 1).



Рисунок 1 – Разработка визуального стиля баннеров

Figure 1– Developing the visual style of banners

Дизайн-концепт исследования предусматривает создание серии из несколько анимированных баннеров, каждый из которых будет посвящен отдельному продукту или услуге банка, с целью повышения информированности и привлечения целевой аудитории [7]. Структура серии предполагает последовательное и логичное представление ключевых предложений банка, таких как кредиты, вклады и мобильное приложение, что позволяет обеспечить комплексный охват различных аспектов финансовых услуг и повысить их узнаваемость. Использование анимации в рамках каждого баннера способствует более эффективной передаче информации, привлечению внимания и созданию запоминающегося визуального образа бренда. Данный подход позволяет не только подчеркнуть уникальные преимущества каждого продукта, но и обеспечить целостность коммуникационной стратегии, способствующей формированию положительного имиджа банка и стимулированию интереса со стороны потенциальных клиентов.

Длительностью анимированного ролика – 15 секунд, композиция состоит из нескольких частей – заставки, основного блока, призыва к действию.

Заставка занимает 3 секунды времени всего ролика, например, 3D-логотип банка с анимацией появления, или появление с помощью морфинга в 2D (рис. 2). Этот этап анимации баннера представляет собой процедуру визуализации логотипа Альфа-Банка длительностью 3 секунды.

Анимационный процесс начинается с кадрирования абстрактного фона, выполненного в фирменной цветовой гамме, например, доминирующий красный тон с градиентным переходом в глубокий черный, что обеспечивает контрастное восприятие основного объекта. Логотип Альфа-Банка появляется с использованием плавной трансформации в анимации, обеспечивающий соответствие корпоративной идентичности банка, подчеркивая технологичность и динамичность бренда, а также выполняет

функцию семиотического элемента, фиксирующего внимание зрителя перед переходом к основному информационному блоку [10].



Рисунок 2 – Работа над анимацией заставки

Figure 2 – Working on screensaver animation

Основной блок длительностью в 8 секунд реализуется с помощью использования отдельно или комбинирования широкого спектра визуальных элементов – двумерной графики, трехмерных сцен

и стоковых видеофутажей [8]. Они объединены в единую композицию для достижения мультимодального воздействия на целевую аудиторию или использоваться в разных сценах. 2D-инфографика, выполненная в плоском дизайне с акцентом на минимализм, служит инструментом рационализации сообщения, анимированные диаграммы визуализируют процентные ставки, а текстовые блоки с типографикой в стиле Akzidenz-Grotesk структурируют ключевые преимущества продукта, например, «0 % комиссии», «Мгновенное одобрение», обеспечивая лаконичность восприятия. 3D-сцена, смоделированная с применением фотореалистичного рендеринга для имитации реалистичных материалов, демонстрирует абстрактную метафору сервиса, например, рост денежной массы на депозите, увеличение объема золотых слитков, расширение графика капитализации, что подчеркивает динамику и надежность финансовых операций. Использование лицензионного видеоматериала выполняет функцию эмоционального ориентира, связывая абстрактную-информацию с повседневными контекстами, а также формируя ассоциативный ряд, соотносящийся с ценностями бренда [9]. Синхронизация временной развертки анимационных слоев осуществлялась через нелинейный монтаж в Adobe After Effects. Данный подход, основанный на принципах модульности и семиотической согласованности, совмещает задачу донесения информации с эстетико-эмоциональной составляющей, соответствующей цифровой экосистеме Альфа-Банка (рис. 3).



- Перевод с карты на карту
- Автоплатежи и настройка их шаблонов
- Приобретай страховку
- Открывай и закрывай счета

Рисунок 3 – Работа над анимацией основного блока

Figure 3 – Working on the animation of the main block

Призыв к действию: четырехсекундный кадр с акцентной кнопкой «Узнать подробнее» с переходом на сайт. В этой части анимированного ролика минимальная смысловая нагрузка служит для сохранения ненавязчивости рекламы и передачи эмоциональной составляющей всего баннера [8].

Визуальный стиль анимированных баннеров из 2D-элементов составляют: плоские иконки, типографика, морфинг-переходы, графики, абстрактные элементы, логотип. 3D-элементы в проекте: логотип, абстрактные сферы, монеты и т. д. объекты. Минималистичные лицензионные материалы, например, фоны, видео людей [10].

Инструментами разработки данного проекта являются современные графические и анимационные программы. Для создания 2D-анимации и отрисовки элементов использовались Adobe After Effects, Illustrator, Photoshop. Для трехмерного моделирования Blender. В качестве источников дополнительных материалов задействовались стоки Freerik, Rexels, предоставляющие ресурсы. Звуковое сопровождение формировалось с помощью библиотеки EpidemicSound, содержащей роуэти-фри музыку.

Реализация проекта проходила в несколько этапов, что позволило выстроить логичную и последовательную систему разработки анимированных баннеров для банка. На стадии предпродакшн была сформирована концептуальная основа будущего медиапродукта. Был разработан сценарий, в котором фиксируются ключевые идеи, структура подачи информации и последовательность визуальных акцентов. Сценарий является каркасом, определяющим, какие сообщения будут транслироваться аудитории и каким образом они будут визуализированы. Следующим шагом стала подготовка раскадровки в программе Adobe Photoshop, где создавались эскизы ключевых кадров, которые помогают визуализировать динамику будущей анимации и определить композиционное решение. Параллельно осуществлялся подбор материала – изображений, текстур, иконографии и видеофрагментов, которые были включены в проект [10].

Этап продакшн связан с созданием визуального контента. Здесь выполняется отрисовка 2D-графики, включающей иллюстративные элементы, пиктограммы и текстовые блоки, которые задействованы в анимации. Одновременно создавались 3D-модели, среди которых фирменный логотип, абстрактные объекты, усиливающие визуальную выразительность баннеров. Особое внимание уделялось разработке анимационных переходов и эффектов – это плавные смены кадров, появление и исчезновение элементов, использование параллакса или динамических световых акцентов. Эти приемы позволили сделать баннер более живым и привлекательным, а также

удерживать внимание целевой аудитории в течении всего времени демонстрации [10].

Завершающий этап постпродакшн направлен на объединение всех созданных материалов в единый анимационный продукт. В программе Adobe After Effects осуществлялось сведение слоев, настройка временных интервалов, синхронизация графики со звуковым сопровождением. Далее проводилась оптимизация готовых материалов под различными форматами, таким как, GIF-анимации, предназначенные для социальных сетей, и MP4-видеофайлы, адаптированные для веб-платформ и рекламных сетей [10]. На заключительном шаге было выполнено тестирование баннеров на разных устройствах. Это необходимо для проверки корректности отображения, скорости загрузки и сохранения качества анимации в условиях различных технических ограничений (рис. 4, 5).

Сценарии разработанных анимированных баннеров для Альфа Банка строятся на сочетании 3D-сцен, 2D-графики и лицензионного видео, где каждый ролик акцентирует внимание на конкретном продукте или услуге. В одном случае рука перелистывает карусель с банковскими картами, подчеркивая индивидуальный выбор клиента, в другом – появляется смартфон с приложением INSNC, демонстрирующий простоту и скорость использования. Для темы управления финансами используется видео с девушкой и анимация смены карт, а в баннере о выгодных условиях кредита акцент сделан на появлении телефона, падающих денег и эмоциональной реакции. Отдельные сценарии подчеркивают удобство оплаты одной кнопкой через инфографику и 3D-сцену с корзиной услуг, а вклад «Надежный» визуализируется через копилку с логотипом, график лестницу и символический щит. Кредит наличными представлен как «растущие» из карты деньги, а универсальность сервисов – через вращающиеся 3D-элементы вокруг смартфона. В других баннерах демонстрируется легкость оформления карты «100 дней» и создается образ гармонии инноваций и природы: здание Альфа Банка в Минске сочетается с абстрактными 3D-формами и логотипом, покрытым травой и цветами.

Завершающим этапом исследования является тестирование и оценка эффективности разработанных анимационных баннеров [2]. Эмпирический метод предполагает проверку разработанных баннеров в условиях, максимально приближенных к реальной среде их функционирования. На данном этапе осуществлена апробация визуальных и анимационных решений на целевой аудитории, что позволило выявить, насколько созданный медиапродукт соответствует ожиданиям пользователей и задачам бренда. Для этого было применено несколь-

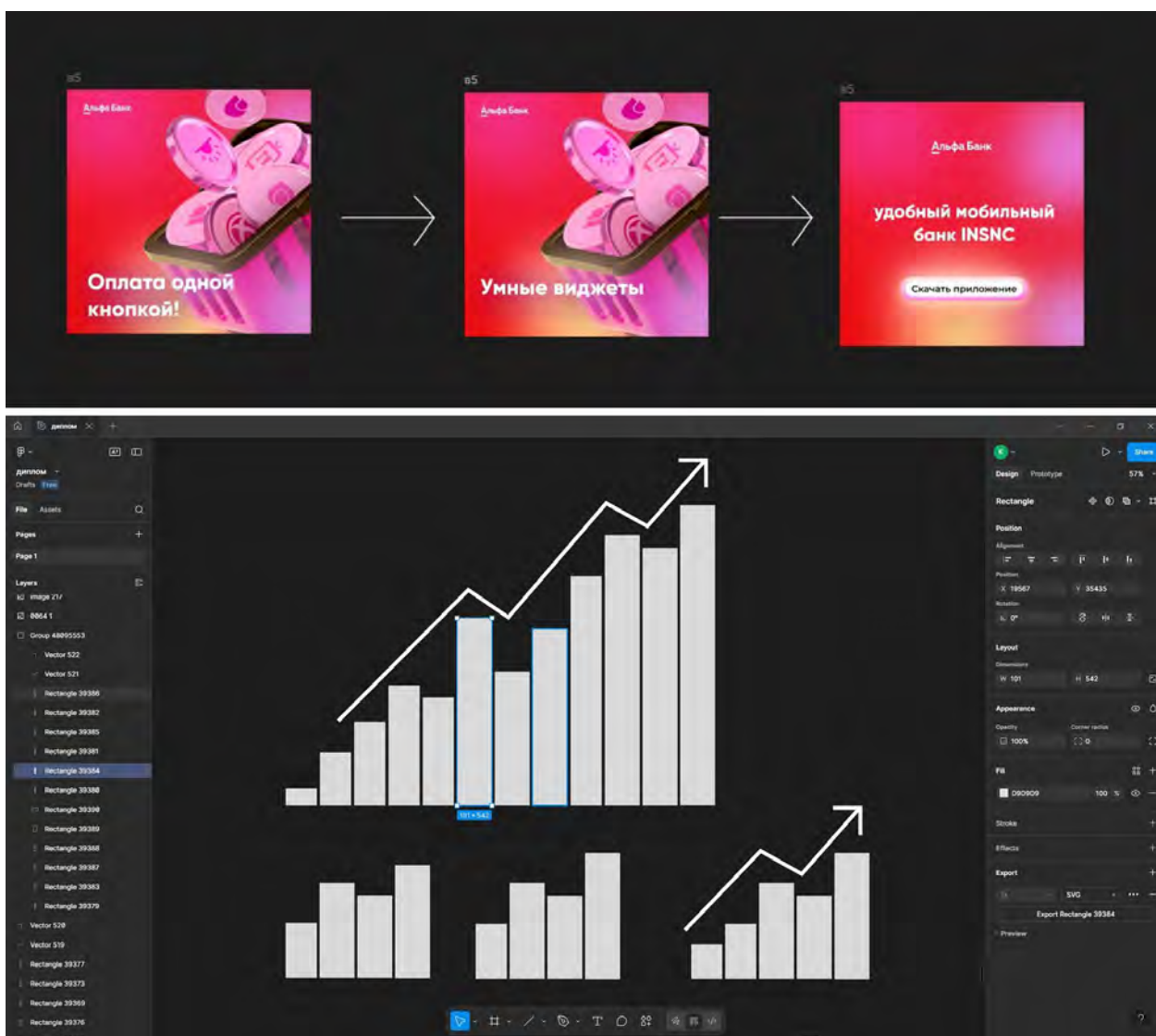


Рисунок 4 – Этапы разработки анимации: создание раскадровки и отрисовка 2D-графики

Figure 4 – Animation development stages: Creating story boards and rendering 2D graphics

ко инструментов, такие как, фокус-группы, в рамках которых респонденты обсуждали восприятие баннеров, делились впечатлениями о визуальной выразительности, понятности сообщения и эмоциональном воздействии [4]. Также проводился анализ кликабельности и вовлеченности в реальных условиях размещения баннеров на цифровых платформах. Изучались количественные показатели, такие как количество переходов, глубина взаимодействия, время просмотра. Эмпирический метод обеспечивает обратную связь между разработчиком и аудиторией, позволяя не только проверить гипотезы, заложенные на этапе проектирования, но и внести

необходимые корректировки в дизайн, анимацию или структуру сообщения. Его применение гарантирует, что итоговый продукт будет не только эстетически выразительным, но и функционально эффективным, способным решать задачи продвижения банковских услуг.

Последним этапом стал визуально-семиотический анализ, который применяется для глубокого изучения образов, символов и визуальных метафор, используемых в анимационных баннерах для Альфа-Банка. В них доминируют фирменные красный и белый цвета, также используются градиентные переходы, которые традиционно ассоциируются с

энергичностью, динамикой и уверенностью. Красный цвет выступает акцентным, привлекающим внимание и символизирующим активность и лидерство, тогда как белый обеспечивает баланс, чистоту и прозрачность коммуникации. Типографика выдержана в современном, строгом стиле, что подчеркивает технологичность и надежность банка. Использование четких шрифтовых решений уси-

ливает восприятие бренда как инновационного и уверенного в своей позиции на рынке. Визуальные метафоры, примененные в баннерах, связаны с темами движения, роста и цифровых технологий, плавные анимационные переходы создают ощущение стабильности и последовательности, а динамичные элементы транслируют идею развития и удобства [3].

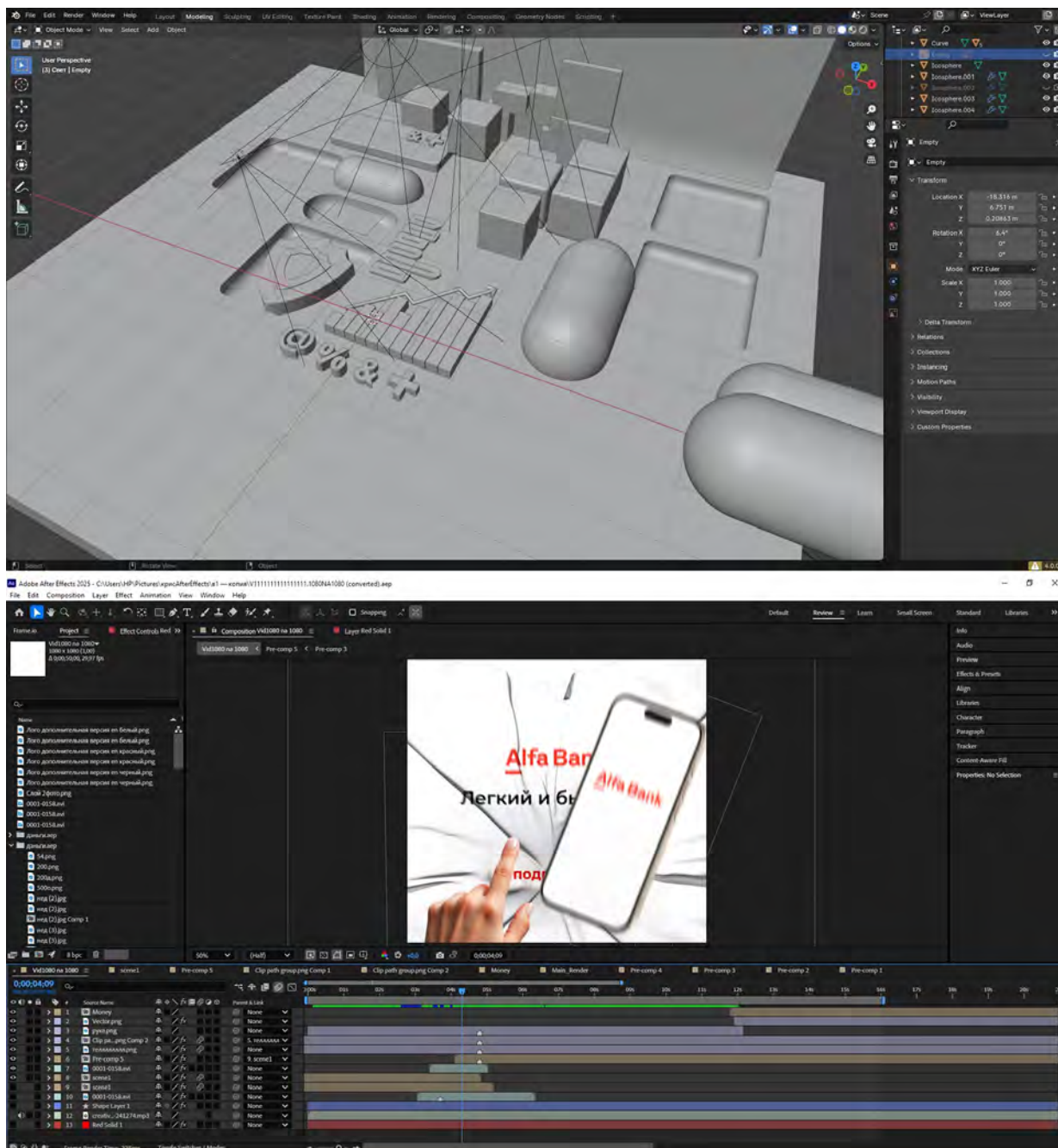


Рисунок 5 – Этапы разработки анимации: создание 3D-моделей и сведение слоев анимации

Figure 5 – Animation development stages: Creating 3D models and combining animation layers

Особое внимание уделено эмоциональному воздействию, баннеры вызывают у зрителя чувство надежности и технологической открытости, что особенно важно для банковской сферы, где доверие является ключевым фактором [2]. Визуальные образы и анимационные эффекты создают ассоциации с инновационностью, скоростью обслуживания и доступностью цифровых сервисов Альфа Банка.

Визуально семиотический анализ показал, что созданные анимационные баннеры не только соответствуют фирменному стилю Альфа Банка, но и эффективно транслируют его ценности, формируя у аудитории положительный эмоциональный отклик и усиливая доверие к бренду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проект демонстрирует возможность создания современных анимированных баннеров с ограниченным бюджетом. Интеграция 3D-элементов усиливает визуальную привлекательность, а лицензионные материалы сокращают время производства.

Работа подтверждает компетенции в области моушн-дизайна и понимание цифрового маркетинга

в банковской сфере. Каждый баннер разбит на 4 смысловых блока, чтобы удержать внимание: динамичная заставка, продукт, эмоция/подтверждение, СТА. 3D-элементы (логотип, монеты, графика) создают «вау-эффект», а 2D-анимация и стоки добавляют реализма. Все сцены можно масштабировать под вертикальный/горизонтальный формат за счет модульной композиции.

Баннеры строятся с акцентом на уникальность продукта, эмоционального воздействия на целевую аудиторию, четкого призыва к действию по средствам кнопки, QR-коды, номера.

Таким образом, разработанные уникальные анимированные баннеры с использованием авторских визуальных решений, позволяют оценить эффективность анимации в повышении вовлеченности пользователей и укреплении имиджа банка. Проект демонстрирует применение принципов фирменного стиля, адаптированного под цифровые носители, что способствует последовательному и узнаваемому позиционированию бренда и имеет значение для развития современных digital-технологий в банковском секторе Беларуси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казарновская, Г. В. 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.
2. Попова, А. В. Эффективность продвижения ювелирного бренда / А. В. Попова, В. А. Виноградова // *Материалы и технологии*. – 2024. – № 1 (13). – С. 42–48. – DOI: 10.24412/2617-149X-2024-1-42-48.
3. Abramovich, N. Visual communications in educational marketing / N. Abramovich, K. Glusova // *Education and science in the 21st century : Articles of the VIII International Scientific and Practical Conference, Vitebsk, 29 November 2023*. – Vitebsk: Vitebsk state technological university, 2024. – P. 9–12.
4. 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.
5. 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.
6. Samutsina, N. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics [Electronic resource] / N. Samutsina, N. Abramovich // *AIP Conference Proceedings. International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), Vitebsk, June 08–10, 2021*. – 2022. – 2430. – 020004. Available from: <http://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/15296/5.0077193.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Accessed: 05.10.2025. DOI: 10.1063/5.0077193.
7. Петрухина, О. В. Формирование анимационного дизайна в России (рубеж XIX–XX вв. – начало XXI в.): художественный язык и способы реализации: автореф. дис. на соиск. уч. степ. кан. иск. : 17.00.06 / О. В. Петрухина. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия имени А. Л. Штиглица, 2022. – 23 с.
8. Petrukina, O. Motion design in 1991-2010 and its entertainment function: social and technological aspects [Electronic resource] // *Siberian industrial days international forum 15-16 May 2020, Tomsk, Russian Federation: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*; 2020. – 944 (1). – 012027. Available from: file:///C:/Users/User/Downloads/Motion_design_in_1990-2010_and_its_entertainment_f.pdf. Accessed: 05.10.2025. DOI: 10.1088/1757-899X/944/1/012027.
9. Петрухина, О. В. Прикладная анимация в России на рубеже 1920–1930-х гг. в контексте синтеза художественных, идеологических и социокультурных

турных преобразований / О. В. Петрухина // *Культура и искусство*. – 2019. – № 1. – С. 33–41. DOI: 10.7256/2454-0625.2019.1.28653

10. Трофимов, А. Фирменный стиль и корпоративный дизайн. – Москва: Кнорус, 2024. – 368 с.

REFERENCES

1. Kazarnovskaya GV, Tarabuko NI, Abramovich NA et al. Issledovanie vitebskogo avangarda i ispol'zovanie ego idey v dizayne graficheskoy = Research of the Vitebsk avant-garde and the use of its ideas in graphic design. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet; 2024:136. (In Russ.)
2. Popova AV, Vinogradova VA. Effectiveness of jewelry brand promotion. *Materialy i tehnologii = Materials and technologies*. 2024;1(13):42–48. DOI: 10.24412/2617-149X-2024-1-42-48. (In Russ.)
3. Abramovich N, Glusova K. Visual communications in educational marketing. In: Education and science in the 21st century : Articles of the VIII International Scientific and Practical Conference, November 29, 2023, Vitebsk. Vitebsk: Vitebsk state technological university; 2024:9-12.
4. Jarek K, Mazurek G. Marketing and artificial intelligence. *Central European Business Review*. 2019;8(2):46–56. DOI: 10.18267/j.cebr.213
5. Zakharchuk NS, Popkovskaya LV. Identification of brand DNA in the context of author's creativity. *Materialy i tehnologii = Materials and technologies*. 2024;1(13):42–48. DOI: 10.24412/2617-149X-2024-1-42-48. (In Russ.)
6. Samutsina NN, Abramovich NA. Simulation and visualization of one-and-a-half-layer fabrics. In: AIP Conference Proceedings : International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), June 08–10, 2021, Vitebsk. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022;2430:020004. Available from: <http://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/15296/5.0077193.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Accessed 5 October 2025]. DOI: 10.1063/5.0077193
7. Petrukhina OV. Formirovaniye animatsionnogo dizayna v Rossii (rubezh XIX–XX vv. – nachalo XXI v.): khudozhestvennyy yazyk i sposoby realizatsii: avtoref. dis. na soisk. uch. step. kan. isk. : 17.00.06 = The development of animation design in Russia (late 19th-early 20th centuries – early 21st century): artistic language and methods of implementation: abstract of dissertation for candidate of art.: 17.00.06. Saint Petersburg: Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya khudozhestvenno-promyshlennaya akademiya imeni A. L. Shtiglitsa; 2022:23. (In Russ.)
8. Petrukhina O. Motion design in 1991–2010 and its entertainment function: social and technological aspects. In: Siberian Industrial Days International Forum 15-16 May 2020, Tomsk, Russian Federation: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Available from: file:///C:/Users/User/Downloads/Motion_design_in_1990-2010_and_its_entertainment_f.pdf [Accessed 05 October 2025]. DOI: 10.1088/1757-899X/944/1/012027.
9. Petrukhina OV. Applied animation in Russia at the turn of the 1920s and 1930s in the context of the synthesis of artistic, ideological and socio-cultural transformations. *Kul'tura i iskusstvo = Culture and art*. 2019;1:33–41. DOI: 10.7256/2454-0625.2019.1.28653. (In Russ.)
10. Trofimov A. Firmennyy stil' i korporativnyy dizayn = Corporate identity and corporate design. Moscow: Knorus; 2024:368. (In Russ.)

Сведения об авторах**Попова Александра Владимировна**

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

E-mail: sashka_20@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-8824-5310>

Литвинчук Кристина Олеговна

Студентка факультета дизайна учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: designimoda@yandex.by

Information about the authors**Alexandra V. Popova**

Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Design and Fashion of Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: sashka_20@mail.ru

Kristina O. Litvinchuk

Student of the Faculty of Design at Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: designimoda@yandex.by

Статья поступила в редакцию 06.11.2025.

Научное сетевое электронное издание

Материалы и технологии

Научный журнал

№ 2 (16), 2025

Дизайн обложки: *Абрамович Н. А.*

Компьютерная верстка: *Григорьева Н. В.*

Редактор: *Прокопюк А. С.*

Подписано в печать 09.03.2026. Гарнитура Times.

Усл. печ. листов 10,2. Уч.-изд. листов 10,1. Формат 60x90 1/8. Тираж 40 экз. Заказ № 99.

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.