

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



Витебский государственный  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# Материалы и технологии

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 1 (17), 2026



# Materials and Technologies

SCIENTIFIC JOURNAL

№ 1 (17), 2026

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

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

Журнал основан в 2018 году.

Периодичность выхода журнала – два раза в год.

Рабочие языки журнала: русский, белорусский, английский.

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

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

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

Контактный телефон: +375 212 49 53 38.

#### **Редакция журнала:**

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

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

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

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

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

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

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

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

**Гультяев Вадим Иванович** д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Автомобильные дороги, основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 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<br>Андрей Сергеевич      | к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                   |
| Лустенков<br>Михаил Евгеньевич  | д.т.н., профессор, ректор УО «Белорусско-Российский университет», Республика Беларусь                                                                                        |
| Михайлов<br>Михаил Иванович     | д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Робототехнические системы» УО «Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого», Республика Беларусь                    |
| Ольшанский<br>Валерий Иосифович | к.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                       |
| Попов<br>Андрей Юрьевич         | д.т.н., профессор, профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструменты» ФГАО УВО «Омский государственный технический университет», Российская Федерация                   |
| Попок<br>Николай Николаевич     | д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Технология и оборудование машиностроительного производства» УО «Полоцкий государственный университет им. Е. Полоцкой», Республика Беларусь |
| Путеев<br>Николай Владимирович  | к.т.н., доцент, доцент кафедры «Технология машиностроения» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                   |
| Пятов<br>Владислав Владимирович | д.т.н., профессор, профессор кафедры «Теплоэнергетика» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                       |
| Хейфец<br>Михаил Львович        | д.т.н., профессор, директор ГНУ «Институт прикладной физики НАН Беларуси», Республика Беларусь ГНУ                                                                           |

#### Техническая эстетика и дизайн

|                                     |                                                                                                                                                                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Абрамович<br>Наталья Анатольевна    | ответственный редактор тематического направления, к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь      |
| Акиндинова<br>Наталья Станиславовна | к.т.н., декан факультета дизайна УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                                                     |
| Барсукова<br>Наталья Ивановна       | д.иск., профессор, главный научный сотрудник ФГБОУ УВО «Санкт-Петербургская государственная художественно-промышленная академия им. А.Л. Штиглица», Российская Федерация             |
| Бекк<br>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<br>Игорь Васильевич        | к.иск., доцент, доцент кафедры «Дизайн» УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», Республика Беларусь                                                            |
| Довыденкова<br>Вера Петровна        | к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Конструирование и технология одежды и обуви» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                          |
| Жукова<br>Ольга Михайловна          | к.иск., доцент, доцент кафедры «Изобразительное искусство» УО «Витебский государственный университет им. П.М. Машерова», Республика Беларусь                                         |
| Казарновская<br>Галина Васильевна   | к.т.н., доцент, профессор кафедры «Дизайн и мода» УО «Витебский государственный технологический университет», Республика Беларусь                                                    |
| Ленсу<br>Яков Юрьевич               | д.иск., доцент, зав. кафедрой «Теория и практика коммуникативного дизайна» УО «Белорусская государственная академия искусств», Республика Беларусь                                   |
| Лихачева<br>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.

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

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

The Journal was founded in 2018.

The Journal is published twice a year.

The Journal accepts papers in Russian, Belarusian and English.

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

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

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

Contact number: +375 212 49 53 38.

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

- |                             |                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Andrei A. Kuzniatsou</b> | Editor-in-Chief, Dr. Sc. (Eng), Professor, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus                                                                          |
| <b>Alena V. Vankevich</b>   | Deputy Editor-in-Chief, Dr. Sc. (Econ), Professor, Vitebsk State Technological University, Republic of Belarus                                                                  |
| <b>Nikolay V. Belyakov</b>  | 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, Masharov 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, Masharov 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, Masharov 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

- Система поддержки принятия решений синтеза моделей базирования партий заготовок некруглых деталей на фрезерных обрабатывающих центрах**  
*Н. В. Беляков, Н. Н. Попок, Ю. Е. Махаринский, М. А. Якушев, А. П. Станкевич*
- Оценка увеличения нагрузочной способности планетарного роликвинтового механизма в зависимости от конструктивных параметров**  
*Я. П. Зенкина*
- Метод снижения шума и вибраций при эксплуатации многоигольных вышивальных полуавтоматов**  
*Ю. В. Новиков, Д. А. Тёмкин*
- Автоматизация расчёта размерных цепей на основе имитационного моделирования**  
*А. И. Самаркин, С. И. Дмитриев, Н. Н. Попок, Р. С. Хмельницкий, Е. А. Евгеньева, А. М. Усик*
- 9 Decision Support System for Synthesizing Models for Basing Batches of Non-Circular Parts on Multi-Purpose Milling Machining Centers**  
*Nikolay V. Belyakov, Nikolay N. Popok, Yuri E. Makharinsky, Maxim A. Yakushev, Alexander P. Stankevich*
- 24 Evaluation of the Increase in the Load Capacity of the Planetary Roller Screw Mechanism Depending on the Design Parameters**  
*Yana P. Zenkina*
- 32 Analytical Method for Reducing Noise and Vibration during Operation of Multi-Needle Semi-Automatic Embroidery Machines**  
*Yu. V. Novikov, D. A. Tsiomkin*
- 41 Automation of Dimensional Chain Calculation Based on Simulation Modeling**  
*Alexander I. Samarkin, Sergey I. Dmitriev, Nikolay N. Popok, Ruslan S. Khmialnitski, Yevgeniya A. Evgenyeva, Anton M. Usik*

### Техническая эстетика и дизайн

### Technical Aesthetics and Design

- Инновации в моде: современные технологии текстиля и цифровой инструментарий визуализации костюма**  
*Н. С. Захарчук, Н. С. Акиндинова, О. В. Пищинская*
- Интеграция элементов культурного наследия в проектную практику графического дизайна**  
*Н. А. Абрамович, Чжан Шу*
- Остановочный павильон как объект дизайна городской среды**  
*В. Ху, Н. Н. Самутина*
- Коллекция служских поясов «Папараць-кветка»**  
*Г. В. Казарновская, Д. Л. Качура*
- 54 Innovations in Fashion: Modern Textile Technologies and Digital Tools for Costume Visualization**  
*Mikita S. Zakharchuk, Natalia S. Akindinova, Olga V. Pishchinskaya*
- 64 Integration of Cultural Heritage Elements into Graphic Design Practice**  
*Natalia A. Abramovich, Zhang Shu*
- 74 Bus Stop Pavilion as an Object of Urban Environment Design**  
*Wenran Hu, Natallia N. Samutsina*
- 85 "Paparats-Kvetka" Slutsk Belt Collection**  
*Galina V. Kazarnovskaya, Daniil L. Kachura*

## Система поддержки принятия решений синтеза моделей базирования партий заготовок некруглых деталей на фрезерных обрабатывающих центрах

Н. В. Беляков<sup>1</sup>,  
Н. Н. Попок<sup>2</sup>,  
Ю. Е. Махаринский<sup>1</sup>,  
М. А. Якушев<sup>1</sup>,  
А. П. Станкевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Аннотация.** В современном машиностроении широкое распространение получили детали, не относящиеся к телам вращения, такие как корпуса, станины, коробки, стойки и т. п., для механической обработки которых используются обрабатывающие центры (ОЦ). В статье, на основе анализа методов ориентации заготовок в рабочей зоне фрезерных ОЦ, предложен подход к формированию системы координат детали WCS (Work Coordinate System), а также определению состава установочных и установочно-зажимных элементов приспособлений для обеспечения точности расположения конструктивных элементов оригинальных некруглых деталей в серийном машиностроительном производстве, позволяющий формализовать процедуры проектного базирования. Использование теории алгоритмов, автоматизации проектирования и информационных технологий позволило реализовать эти процедуры в виде системы поддержки принятия решений. Применение системы позволяет сократить сроки формирования и оформления технологических процессов изготовления деталей, повысить качество проектных решений по выбору (разработке) станочных приспособлений, что способствует повышению производительности труда технологов-машиностроителей и снижению количества ошибок на этапе внедрения технологии. Разработки могут использоваться: в технологических бюро машиностроительных предприятий для проектирования операций изготовления деталей на фрезерных обрабатывающих центрах; в IT-компаниях для совершенствования CAPP/CAM/CAFD-систем; в учебном процессе для подготовки специалистов в области технологии машиностроения.

**Ключевые слова:** фрезерный обрабатывающий центр, базирование, некруглые детали, система координат, ноль детали, WCS, алгоритм, станочное приспособление.

## Decision Support System for Synthesizing Models for Basing Batches of Non-Circular Parts on Multi-Purpose Milling Machining Centers

Nikolay V. Belyakov<sup>1</sup>,  
Nikolay N. Popok<sup>2</sup>,  
Yuri E. Makharinsky<sup>1</sup>,  
Maxim A. Yakushev<sup>1</sup>,  
Alexander P. Stankevich<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus  
<sup>2</sup>Educational institution "Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk", Novopolotsk, Republic of Belarus

**Abstract.** In modern mechanical engineering, parts that are not related to bodies of rotation, such as housings, frames, boxes, racks, etc., are widely used, and machining centers (OTS) are used for their mechanical processing. Based on the analysis of the methods of orientation of workpieces in the working area of milling centers, the article proposes an approach to the formation of the WCS (Work Coordinate System) part coordinate system, as



well as determining the composition of the mounting and clamping elements of devices to ensure the accuracy of the structural elements of the original non-circular parts in serial machine-building production, allowing to formalize the procedures of design basing. The use of algorithm theory, design automation, and information technology has made it possible to implement these procedures as a decision support system. The use of the system makes it possible to reduce the time required for the formation and design of technological processes for manufacturing parts, improve the quality of design solutions for the selection (development) of machine tools, which makes it possible to increase the productivity of machine engineers and reduce the number of errors at the stage of technology implementation. The developments can be used: in the technological bureaus of machine-building enterprises to design the manufacturing operations of parts at milling processing centers; in IT companies to improve CAPP/CAM/CAFD systems; in the educational process to train specialists in the field of mechanical engineering technology.

*Keywords: milling machining center, basing, non-circular parts, coordinate system, zero parts, WCS, algorithm, machine tool.*

## ВВЕДЕНИЕ

В машиностроении широкое распространение получили такие детали, как корпуса, станины, коробки, стойки, основания, кронштейны, рычаги и т. п., для механической обработки которых все более широкое применение находят фрезерные обрабатывающие центры (ОЦ). Характерной особенностью таких деталей является разнообразие состава конструктивных элементов, а также высокие требования к точности их расположения (перпендикулярность, параллельность, наклон, соосность, симметричность, пересечение осей). Чаще всего указанные детали являются нетиповыми в отличие, например, от деталей типа тела вращения, для которых возможно построение комплексных типовых деталей и соответствующих технологических процессов с детальной проработкой операций и порядка их выполнения.

Большое влияние на обеспечение точности расположения при обработке на металлорежущих станках оказывает базирование заготовок [1]. В описании операции типовых комплексных технологических процессов изготовления деталей типа «тела вращения» несложно предусмотреть модели базирования заготовок. Для формирования операций механической обработки заготовок оригинальных некруглых (не относящихся к телам вращения) деталей требуется каждый раз синтезировать новые модели базирования. Поэтому трудоемкость проектирования операций механической обработки заготовок указанных деталей на порядок выше трудоемкости проектирования технологий изготовления деталей других классов.

Сократить трудоемкость проектирования в десятки раз и повысить качество проектных работ позволяет их автоматизация. Однако, анализ информационных источников опыта работы технологических бюро машиностроительных предприятий, специализирующихся на серийном выпуске некруглых деталей, показывает, что процедуры синтеза вари-

антов базирования партий заготовок для обеспечения точности расположения элементов конструкции оригинальных некруглых деталей сложной формы на фрезерных обрабатывающих центрах являются недостаточно алгоритмизированными, и как следствие, отсутствуют автоматические средства их проведения [1–5]. Направлением решения задачи создания полностью автоматической системы синтеза станочных приспособлений (CAFD-систем (computer-aided fixture design)) является создание системы поддержки принятия проектных решений (СППР) синтеза моделей базирования.

Поэтому целью работы является разработка СППР синтеза моделей базирования партий заготовок для обеспечения точности расположения конструктивных элементов оригинальных деталей сложной формы в субтрактивном машиностроительном производстве на фрезерных обрабатывающих центрах.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- провести анализ методов базирования заготовок на ОЦ;
- разработать алгоритмическое обеспечение СППР;
- разработать программное обеспечение СППР.

Для исследования и решения, поставленных в работе задач, использовались методы теории базирования, системно-структурного анализа и моделирования, а также автоматизации проектирования. Проводился анализ литературных источников, электронных изданий, опыта работы технологических бюро машиностроительных предприятий.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Анализ каталогов станочного оборудования, а также опыта работы машиностроительных предприятий показывает, что ведущим производителем фрезерных обрабатывающих центров (ОЦ) в Ре-



спублике Беларусь является ОАО «СтакоГомель». В Российской Федерации лидерами в производстве обрабатывающих центров являются ООО «Липецкое станкостроительное предприятие», ООО «Ульяновский станкостроительный завод»<sup>1</sup>. Лидерами в производстве обрабатывающих центров в дальнейшем зарубежье являются такие компании как: Haas Automation, Hurco (США), Okuma, Mazak (Yamazaki Mazak), Makino (Япония), DMG Mori (Япония и Германия), Gildemeister, Trumpf (Германия), Bystronic (Швейцария), ANCA (Австралия/Германия), DMTG, Beijing Jingdiao Group, SMTCL, Jier Machine-Tool Group, Borui CNC, QCMTT, Ningbo Haitian, Tuofa Technology, Yijin Hardware (КНР)<sup>2</sup>.

Все многообразие современных фрезерных обрабатывающих центров с ЧПУ сводится к двум принципиальным видам: с горизонтальным HMC (Horizontal machining center) или вертикальным VMC (vertical machining center) шпинделем. ОЦ отличаются широким разнообразием компоновочных решений, регламентированных ГОСТ Р ИСО 10791-1-2009. Важнейшее значение для вопросов базирования имеет то, что вне зависимости от компоновки ОЦ применяется единая система обозначений координат MCS (Machine Coordinate System (ноль станка)) [6–7].

Анализ *методов базирования заготовок* некрутых деталей показывает, что их установка в рабочей зоне фрезерных ОЦ для всех компоновочных решений осуществляется:

- непосредственно на поверхность стола станка с использованием универсальных опор и упоров;
- на поверхности установочных и (или) установочно-зажимных элементов станочных приспособлений.

По степени специализации все станочные приспособления для фрезерных ОЦ можно классифицировать на специальные и переналаживаемые. Переналаживаемые приспособления для фрезерных ОЦ, в свою очередь, можно разделить на универсальные безналадочные; универсальные наладочные; специализированные наладочные; универсально-сборные; сборно-разборные<sup>3</sup>.

Наиболее широкое применение для базирования заготовок на фрезерных ОЦ находят универсальные безналадочные приспособления: тиски машинные

(станочные, глобусные, горизонтальные, угловые, самоцентрирующиеся, ручные, многофункциональные, вертикальные, магнитные); столы поворотные, магнитные столы и плиты; вакуумные столы (решетчатые, столы VAC-MAT, перфорированные, желобковые, пористые); стойки и т. п.

Универсально-наладочные и специализированные наладочные приспособления состоят из универсальной базовой части и сменных наладок. Наладки могут быть универсальными и специальными (под определенную задачу). Наиболее широкое применение такие приспособления нашли для групповой обработки заготовок.

Система универсально-сборных приспособлений состоит из десятков тысяч стандартных деталей (корпусы, установочные, крепежные и т. д.) регламентированных ГОСТ 31.111.41-93. Ориентация и фиксация деталей осуществляется системой Т-образных пазов. Универсально-сборные приспособления находят применение для опытного освоения новых деталей в мелкосерийном и серийном производстве. Лидерами в производстве универсально-сборных приспособлений являются: Южно-уральский завод универсально-сборочных приспособлений и технологической оснастки и завод специальной взаимозаменяемой технологической оснастки<sup>4</sup>.

Сборно-разборные приспособления также как и универсально-сборные состоят из типовых стандартных деталей, однако конструктивно их взаимная ориентация и фиксация предусматривает систему координатных отверстий и пальцев. Ведущими зарубежными производителями являются компании AMF и KIPP (Германия), AMROK (США), IMAO (Япония), Liave Industrial (Тайвань)<sup>5</sup> и др.

Для обеспечения точности расположения конструктивных элементов одной из важнейших задач при проектировании моделей базирования заготовок на фрезерных ОЦ с ЧПУ является определение положения системы рабочих координат WCS (Work Coordinate System (ноль детали)) относительно системы координат станка MCS [8–10].

Проведенный анализ информационных источников показывает, что определение ориентации WCS относительно MCS может осуществляться двумя методами:

- виртуальным базированием (базированием с

<sup>1</sup><https://stankogomel.by/>, <https://lssp.ru/catalog/>, <https://ulsz.ru/>

<sup>2</sup><https://www.haas.co.uk/>, <http://mazak.ru/>, <https://www.okuma.eu/ru/>, <https://en.dmgmori.com/>, <https://dmtg-stanki.ru/>, <https://www.smtcl-en.com/>, <https://en.jingdiao.com/>

<sup>3</sup>Изнаилов, Б. М. Установочно-зажимная технологическая оснастка в машиностроении : учебное пособие / Б. М. Изнаилов, А. Н. Васин, О. П. Решетникова. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 244 с.

<sup>4</sup><http://uspto.ru> <http://svto.info/>

<sup>5</sup><https://www.amf.de>, <https://www.kippcom.ru>, <https://www.ame.com/tombstones-fixtures>, <https://www.imao.biz>, <http://www.leave.com.tw/>

использованием систем измерений);

- базированием относительно простых движений подач (направляющих).

Ориентация WCS относительно системы координат станка при виртуальном базировании осуществляется на основе OMV-технологии (от англ. on-machine verification). Процесс происходит с помощью выполнения замеров положения заготовки непосредственно на станке с помощью систем щупов и датчиков (в перспективе индуктивных, лазерных, интерферометрических и триангуляционных измерительных систем). Далее при специальном управлении станком, обеспечивающем перемещения за счет сложных движений подач, возможно производить обработку конструктивных элементов вне зависимости от их ориентации относительно направляющих станка [10–12].

Метод виртуального базирования находит применение в единичном и мелкосерийном производстве. В случае использования этого способа для обработки партий заготовок в серийном производстве:

- значительно увеличивается вспомогательное время, связанное с процедурой измерения, и как следствие снижается производительность;
- повышаются требования к квалификации операторов;
- снижаются качество обработанных поверхностей, а также точность формы и расположения конструктивных элементов вследствие необходимости совмещения подач;
- повышается себестоимость изготовления заготовок за счет необходимости использования дополнительно оснастки и программного обеспечения.

Если оси WCS не являются параллельными (перпендикулярными) по отношению к осям MCS, то при обработке с использованием простых движений подач (вдоль направляющих) на точность линейных и угловых размеров, а также допусков расположения поверхностей существенное влияние будут оказывать углы поворота осей указанных систем координат друг относительно друга. Установлено, что ориентация осей WCS относительно простых движений подач и координат станка MCS при базировании партий заготовок может осуществляться двумя способами:

- выверкой положения установочных элементов относительно простых движений подач (при базировании заготовки непосредственно на стол станка или в приспособлении). При этом используются эталонные плоскопараллельные концевые меры и угольники, а также средства измерения (как правило, индикаторы);
- за счет использования системы базирующих (установочных) элементов станочных приспособлений, соответствующих посадочным местам станков

или спутников и обеспечивающих их точное положение на столе или спутнике (при базировании заготовки в приспособлении и (или) спутнике).

При использовании системы базирующих (установочных) элементов станочных приспособлений или спутников при их проектировании формируется установочная система координат, положение которой, в свою очередь, задается относительно системы координат приспособления. Система координат приспособления привязывается к системе координат стола станка и MCS. На рисунке 1 показаны варианты расположения установочной системы координат (индекс *y*), систем координат стола (индекс *cm*) и приспособления (индекс *np*), а также WCS и MCS.

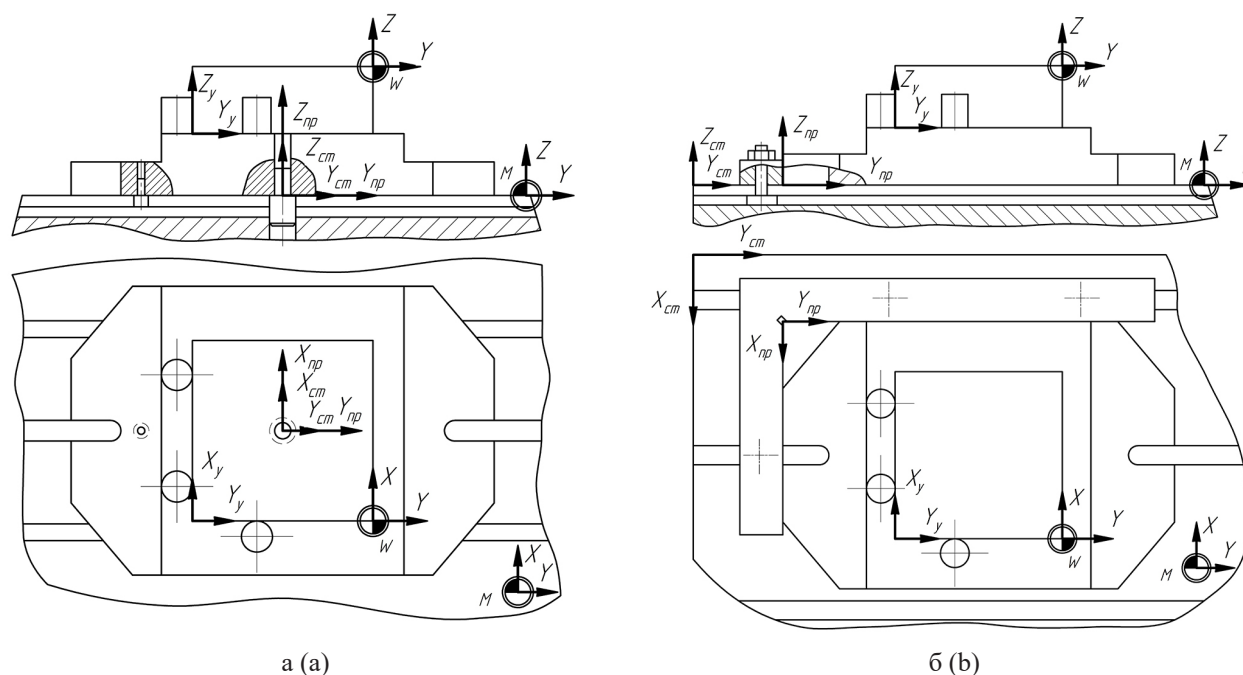
Для реализации положения системы координат приспособления относительно системы координат стола могут применяться такие варианты ориентации приспособления, как:

- с помощью цилиндрического пальца по отверстию и пальца (или шпонки) по продольному пазу (если на столе станка имеются центральное отверстие и продольные пазы) (рис. 1 а);
- по угольнику в координатный угол (при наличии на столе станка продольных пазов) (рис. 1 б);
- с помощью установочных шпонок или пальцев (при наличии на столе станка продольных пазов и центрального поперечного паза);
- с помощью системы Zero Point (для различных столов).

При ориентации приспособления с помощью установочных шпонок или пальцев в том случае, если на столе станка имеются только продольные пазы, формирование оси системы координат приспособления по оси перпендикулярной этому пазу может осуществляться за счет использования упора на столе станка.

Логичным развитием решений в области сокращения вспомогательного времени при обработке партий заготовок деталей стали системы нулевой точки (Zero Point). Суть системы Zero Point заключается в том, что к системе координат станочного приспособления привязывается система координат, заданная относительно стола станка. Начало этой системы координат и называется «нулевая точка». Особую эффективность такие системы показывают для многоменклатурного мелко- и среднесерийного производства (High-Mix Low-Volume), когда становится возможным вне станка произвести установку заготовки и привязать ее систему координат к системе координат станка [13,14].

Установлено, что важнейшее значение при базировании партий заготовок имеет положение WCS относительно опорной (установочной) системы координат (привязанной к установочным элементам). При этом желательно совместить опорную



**Рисунок 1 – Ориентация приспособления на столе станка:**  
**а – по центральному отверстию и продольному пазу с помощью цилиндрических пальцев;**  
**б – по боковым плоскостям корпуса с помощью угольника**

**Figure 1 – Orientation of the fixture on the machine table:**  
**a – along the central hole and longitudinal groove using cylindrical pins;**  
**b – along the side surfaces of the housing using a square**

систему координат с WCS, чтобы не создавать условия для возникновения погрешности схемы установки – меры несовпадения опорной системы координат и WCS. Причиной возникновения погрешности схемы установки являются погрешности размеров объекта производства, которые получены на этапах обработки, предшествующих рассматриваемому.

Например, на операции обработки отверстия выполняются размеры  $A_2$ ,  $B_2$  и  $C_2$  (рис. 2), для чего с использованием команды G54 сформирована нулевая точка детали (размещена система координат WCS). При программировании и последующей обработке режущие кромки инструмента устанавливаются относительно нулевой точки на расстояния, соответствующие размерам настройки  $A_n$ ,  $B_n$  и  $C_n$ . При выполнении размеров  $A_2$  и  $B_2$  оси  $Y_y$  и  $Z_y$  опорной системы координат не совпадают с осями  $Y$  и  $Z$  WCS. Следовательно, имеются условия для возникновения погрешности схемы установки по этим размерам. До рассматриваемой операции в направлении осей  $Y$  и  $Z$  ранее были выполнены размеры  $A_1$  и  $B_1$  с допусками  $TA_1$  и  $TB_1$ . Поскольку размеры настройки  $A_n$  и  $B_n$  остаются постоянными для

всей обрабатываемой партии деталей и другие погрешности в данной задаче не учитываются, то  $A_2$  и  $B_2$  могут изменяться только в зависимости от размера  $A_1$  и  $B_1$  в пределах допусков  $TA_1$  и  $TB_1$ .

Поскольку в направлении оси  $X$  ось  $X_y$  опорной системы координат совпадает с соответствующей осью WCS, условий для возникновения погрешности схемы установки нет. Допуск на размер  $C_1$  никак не влияет на размер  $C_2$ .

Следовательно:

$$\Delta c_y(A_2) = TA_1, \Delta c_y(B_2) = TB_1, \Delta c_y(C_2) = 0,$$

где  $\Delta c_y$  – погрешности схемы установки по соответствующим размерам.

Формирование WCS, а также ее ориентация относительно установочной системы координат должно осуществляться на этапе проектного базирования. При проектном базировании необходимо минимизировать погрешность схемы установки, как меры несовпадения установочной системы координат и системы координат заготовки детали.

Однако, проведенный анализ не выявил формализованных методик формирования WCS. В ин-

формационных источниках лишь приводятся общие рекомендации, заключающиеся в необходимости использовать в качестве ноля детали верхних доступных для инструмента поверхностей, поверхностей

сопрягаемых с неподвижными поверхностями приспособлений или пересекающихся опорных поверхностей [8–10].

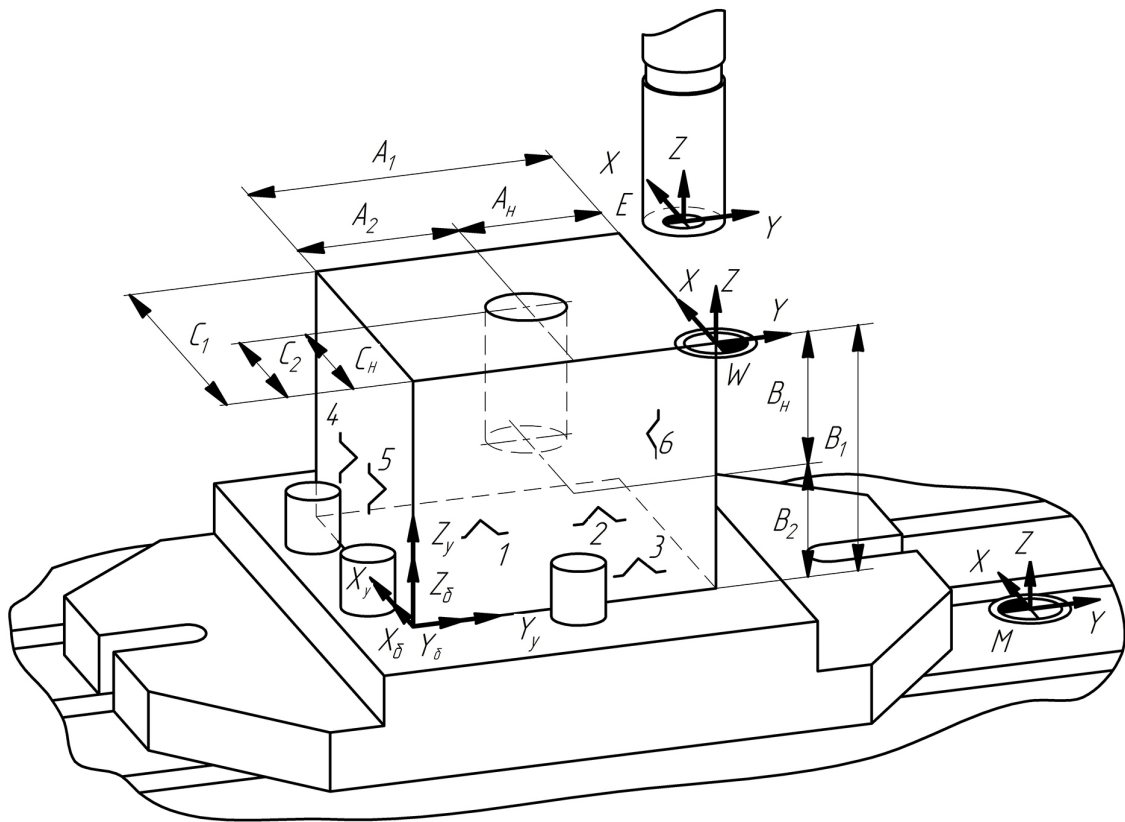


Рисунок 2 – Влияние размещения WCS на обеспечение точности линейных размеров

Figure 2 – Effect of WCS placement on linear dimensional accuracy

При решении задачи автоматизированного формирования WCS, а также определения состава установочных и установочно-зажимных элементов приспособлений для обеспечения точности расположения конструктивных элементов оригинальных деталей в субтрактивном машиностроительном производстве на фрезерных ОЦ предлагается использовать положения автоматизированного проектного базирования [1].

В основе разработанного алгоритмического обеспечения СППР лежит следующая последовательность вспомогательных алгоритмов:

- 1) построения модели структуры геометрических связей модулей функциональных поверхностей заготовок на операции обработки;
- 2) определения базовых поверхностей;
- 3) идентификации состава баз ориентации;
- 4) определения приоритета в обеспечении допусков;

5) привязки геометрических связей к элементам состава баз (задается WCS или базовая система координат  $X_\delta Y_\delta Z_\delta$ ) (рис. 2);

6) определение состава установочных и (или) установочно-зажимных элементов модели базирования (определяется система координат  $X_y Y_y Z_y$ ) (рис. 2).

Реализация вспомогательного алгоритма (подалгоритма) 1 предусматривает корректное задание линейных размеров и допусков расположения на геометрической модели детали. Работа подалгоритма основана на выборе компоновочной схемы фрезерного обрабатывающего центра, а также формировании массивов данных о выдерживаемых на операции размерах и допусках расположения на основе принципа единства конструкторских и технологических баз (рис. 3).

Оперирование размерными параметрами осуществляется с помощью неориентированных графов типа дерева линейных размерных связей (обозначен-

ний размерных связей поверхностей в трех координатных направлениях  $R_{(x,y,z)}$ ). Графы представляются с помощью матрицы смежности  $R_{(x,y,z)}^{cm} = \|r_{i,j}\|_{m \times m}$ , элементы которой образуются по алгоритму:

$$r_{i,j} = \begin{cases} v_k, & \text{если вершина } \bar{n}_i \text{ соединена с вершиной } \bar{n}_j \text{ ребром;} \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где  $v_k = (\bar{n}_i, \bar{n}_j)$  – ребро, соединяющее вершины  $\bar{n}_i$  и  $\bar{n}_j$  (в матрицу записывается  $A(T)$  – соответствующий линейный размер и допуск;  $m$  – число вершин).

Под видом поверхности понимается: плоскость (явная или симметрии); ось и плоскость, связанная с осью (в частности к плоскости симметрии); плоскость, проходящая через оси двух отверстий (в частности плоскости симметрии).

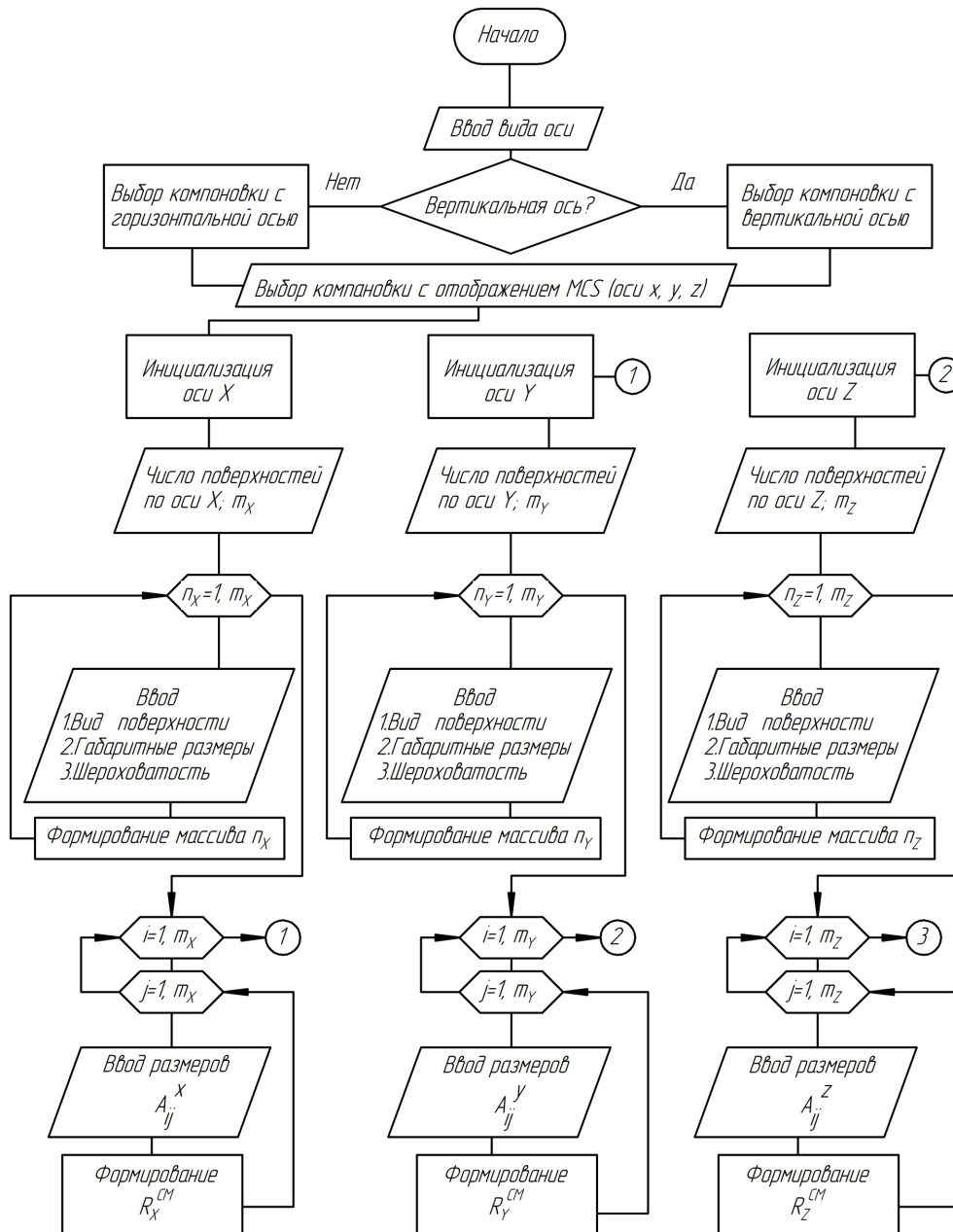


Рисунок 3 – Блок-схема подалгоритма построения модели структуры геометрических связей модулей функциональных поверхностей заготовок на операции обработки

Figure 3 – Block diagram of the sub-algorithm for constructing a model of the structure of geometric relationships of the modules of functional surfaces of workpieces during processing operations



Оперирование угловыми параметрами осуществляется с помощью графов допусков расположения  $U$ . Графы формируются согласно принципам однозначности и корректности задания ориентации элементов конструкции относительно того или иного состава баз ориентации и представляются матрицей инцидентности. Матрица представляет собой прямоугольную таблицу  $U = \|u_{i,j}\|_{m \times l}$ , элементы которой образуются по правилу:

$$u_{i,j} = \begin{cases} y_l, & \text{если ребро } y_l \text{ выходит из вершины } \bar{n}_m; \\ -y_l, & \text{если ребро } y_l \text{ входит в вершину } \bar{n}_m; \\ 0 & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

где  $y_l = \langle \bar{n}_i, \bar{n}_j \rangle$  дуга графа, соединяющая вершину  $i$  с вершиной  $j$  (в матрицу записывается  $T$  – соответствующий допуск углового расположения);  $m$  – число вершин;  $l$  – число рёбер.

Подалгоритм 2 предполагает выполнение последовательности процедур совместного анализа указанных выше массивов данных для формирования возможных составов баз ориентации (рис. 4).

Подалгоритм 3 включает в себя анализ поверхностей согласно сформированным перечням для определения принадлежности состава к одному из четырех их видов.

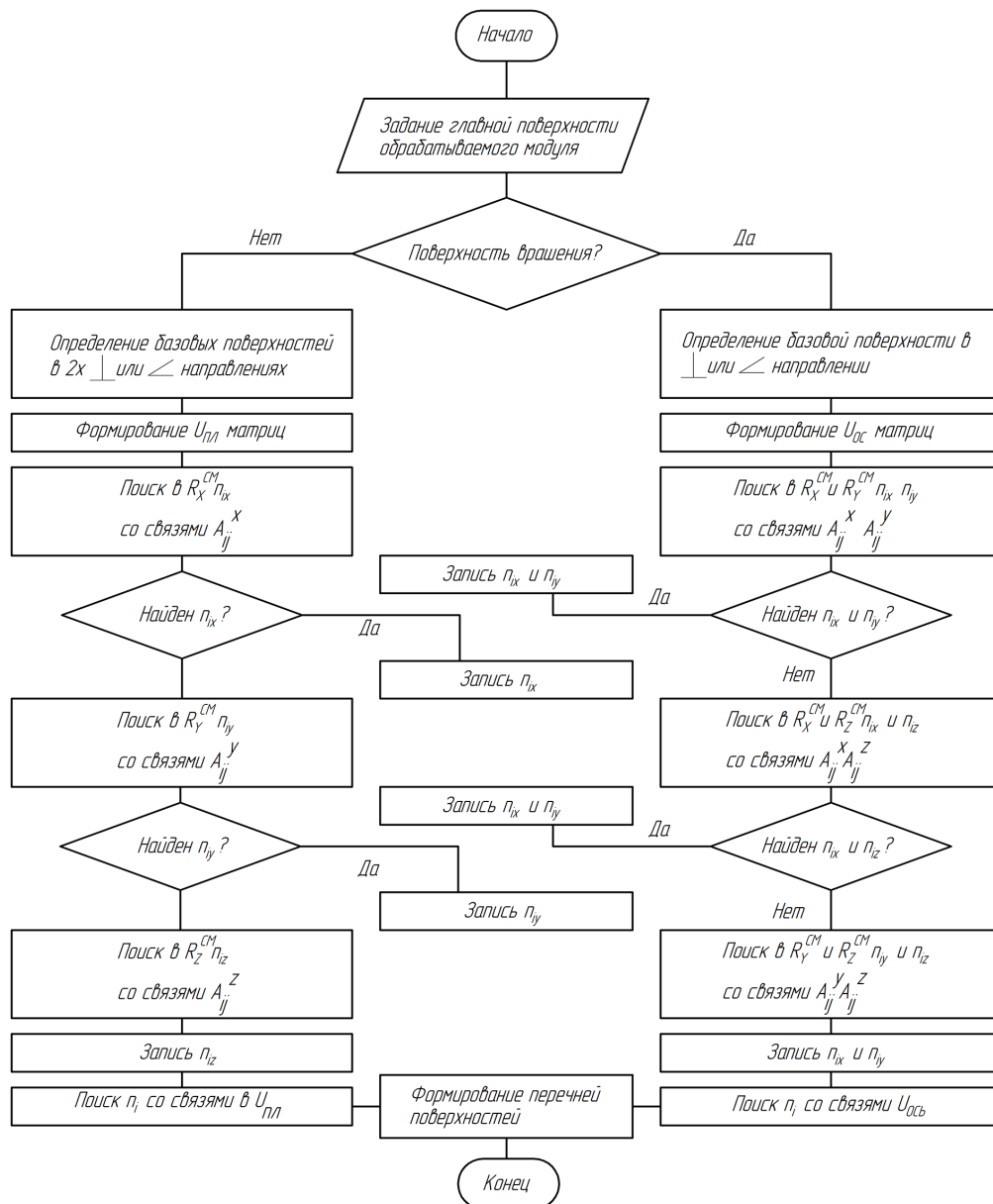


Рисунок 4 – Блок-схема подалгоритма определения базовых поверхностей

Figure 4 – Block diagram of the sub-algorithm for determining base surfaces

Для реализации подалгоритма 4 разработана формализованная методика ранжирования численных значений допусков размеров и расположения по компонентам состава баз. При реализации методики осуществляется приведение допусков к од-

ной базовой длине, определение значений удельных допусков и определение главной (главных) базы в зависимости от их значений. Численные значения неуказанных допусков определяются по ГОСТ 25069 (рис. 5).

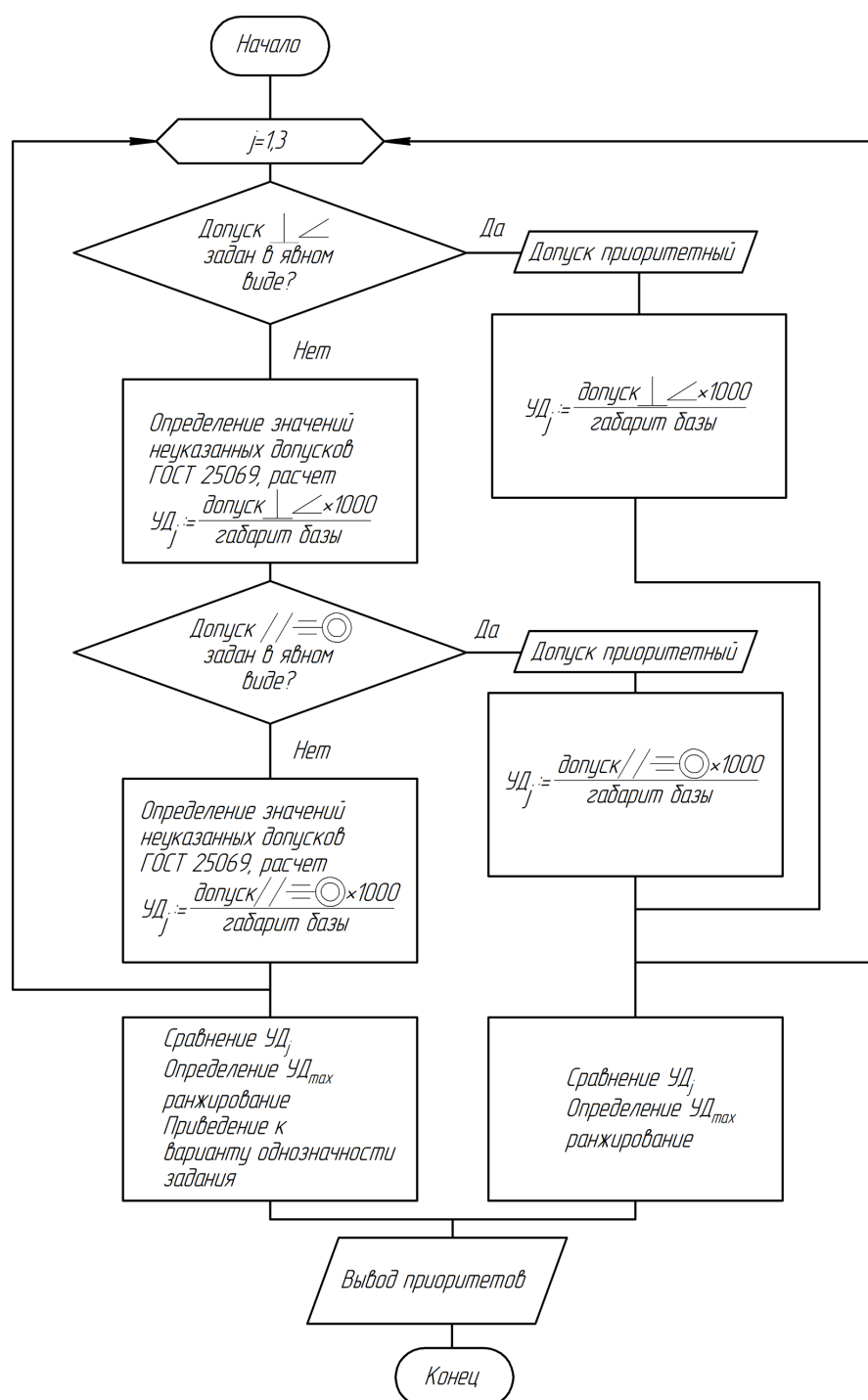


Рисунок 5 – Блок-схема подалгоритма определения приоритета в обеспечении допусков

Figure 5 – Block diagram of the sub-algorithm for determining the priority in ensuring tolerances



Суть привязки геометрических связей к элементам состава баз (подалгоритм 5) заключается в использовании массива производственных моделей, со-

ответствующих вариантам однозначного задания расположения обрабатываемых функциональных поверхностей относительно главной базы (рис. 6).

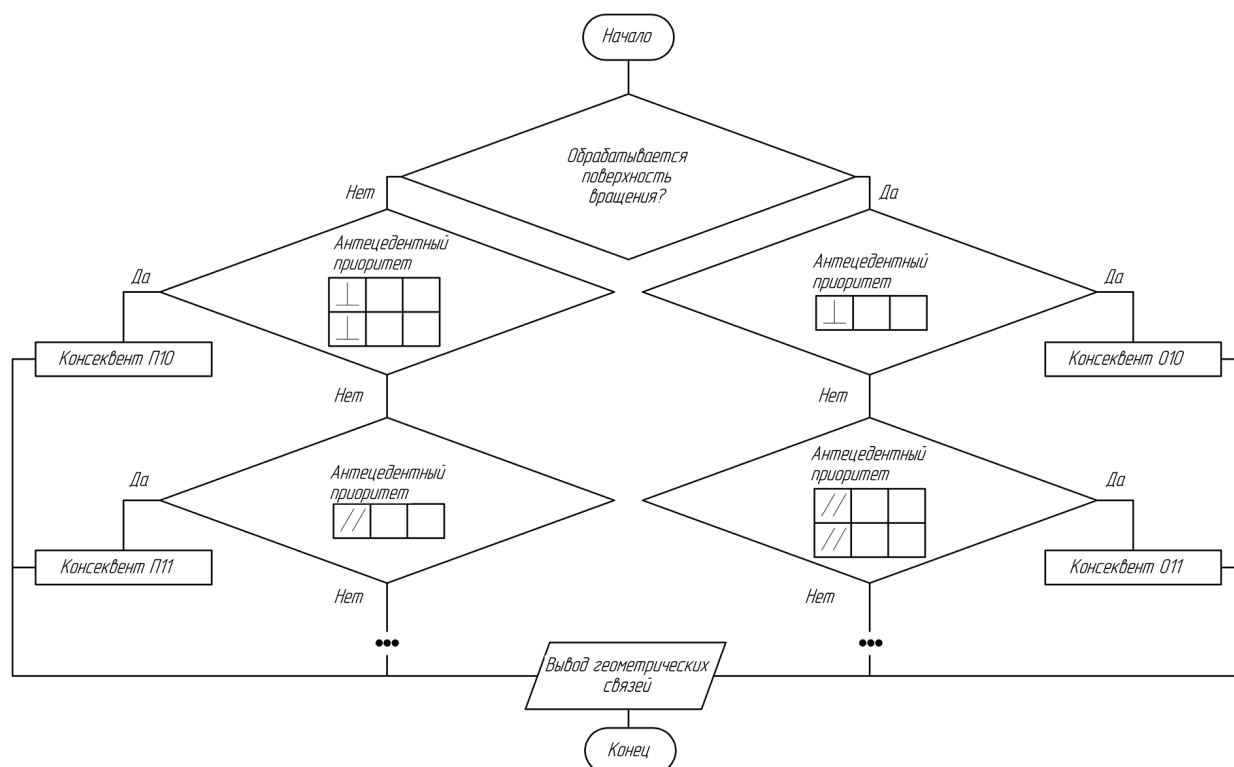


Рисунок 6 – Блок-схема подалгоритма привязки геометрических связей к элементам состава баз

Figure 6 – Block diagram of the sub-algorithm for linking geometric relationships to elements of the base composition

Структура массива полностью соответствует структуре схемы вариантов корректного задания допусков расположения относительно составов баз. Каждому антеcedенту в виде варианта задания приоритетного допуска ставится в соответствие консеквент в виде рекомендаций по определению геометрических связей, накладываемых базой. Так, например, антеcedенту О10 (приоритетным является допуск перпендикулярности оси относительно плоскости и при этом допуск линейного размера относительно другой меньше допуска линейного размера относительно третьей) соответствует консеквент: первая плоскость назначается тройной однонаправленной (установочной) базой, вторая плоскость – двойной однонаправленной (направляющей), третья плоскость – одиночной (опорной).

Подалгоритм 6 содержит метод типовых технических решений, при реализации которого элементы геометрических связей составов баз заменяются соответствующими установочными и (или) установочно-зажимными элементами модели базиро-

вания. Замену указанных элементов предлагается осуществлять с помощью разработанных массивов соответствия и сокращения вариантов технических решений.

Программное обеспечение системы разработано с использованием стандартных элементов и математических функций языков Python и C++. Интерфейс программного обеспечения представляет собой систему взаимосвязанных диалоговых окон и вкладок для ввода исходных данных, а также вывода результатов.

В начале работы системы для реализации подалгоритма 1 пользователю предлагается последовательность диалоговых окон для определения вида ОЦ (с горизонтальным расположением шпинделя НМС или ОЦ с вертикальным расположением шпинделя VMC), его компоновки и определения системы координат MCS. Для реализации принципа единства конструкторских и технологических баз далее предусматривается введение информации о геометрической модели заготовки на операции в

виде задания поверхностей и их размерных связей по осям MCS, а также допусков расположения согласно их простановки на чертеже. Для этого реализуется концепция отображения поверхностей трехмерной модели в виде стандартных примитивов и дальнейшего обозначения поверхностей по соответствующим осям с помощью их нумерации. Исходное диалоговое окно для введения сведений о геометрической модели заготовки детали пред-

усматривает создания примитива (прямой многогранник, призма, цилиндр, фигура по векторам) с выводом запрашиваемых сведений. В результате примитивы отображаются в соответствующих плоскостях MCS для дальнейшего ввода номеров поверхностей и задание размерных связей и допусков расположения. Некоторые окна для ввода исходной информации приведены на рисунке 7.

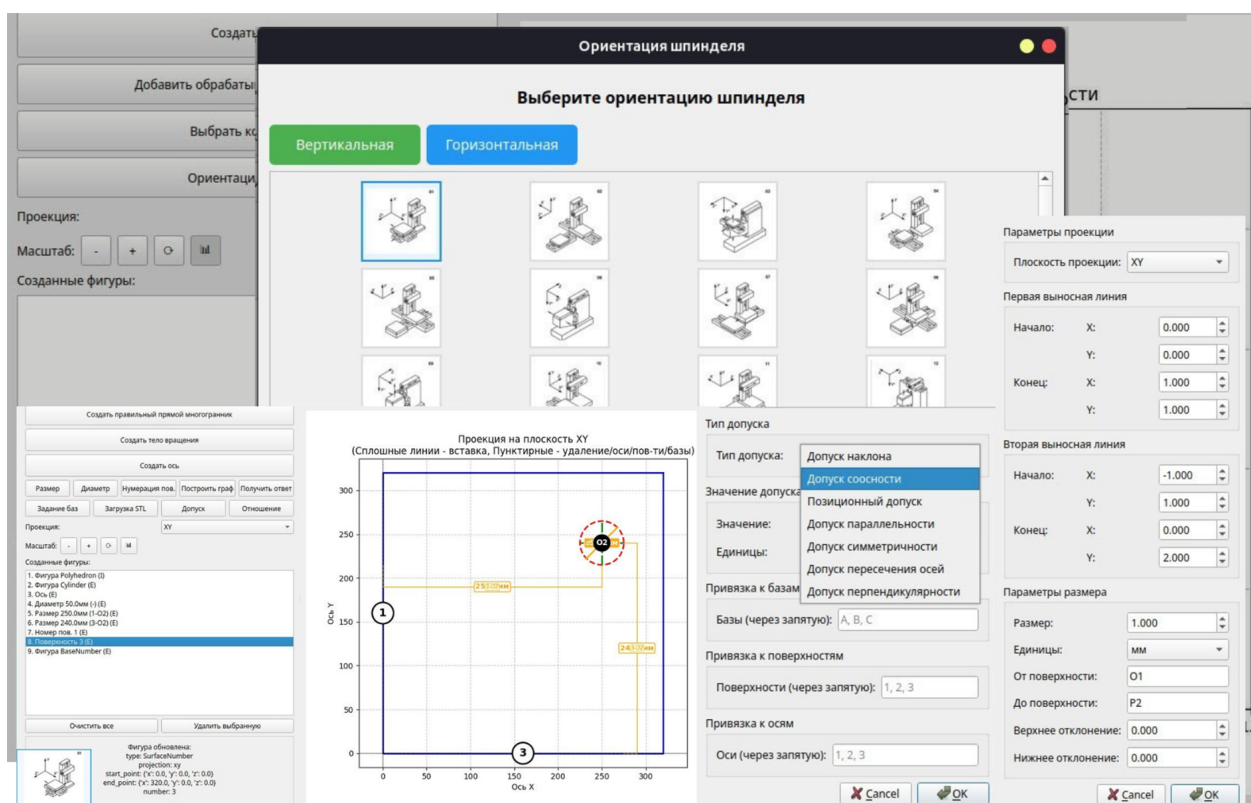


Рисунок 7 – Интерфейсы выбора компоновки ОЦ, системы координат MCS, создания геометрической модели с размерами и допусками расположения

Figure 7 – Interfaces for selecting the layout of the OC, the MCS coordinate system, creating a geometric model with dimensions and location tolerances

На рисунке 8 показан пример реализации под-алгоритмов 5 и 6 в виде указания на поверхностях геометрической модели заготовки условных значков, интерпретирующих геометрические связи на поверхностях составов баз ориентации и рекомендуемых условных обозначений установочных элементов на поверхностях составов баз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе анализа методов ориентации заготовок в рабочей зоне обрабатывающих центров предложен

подход к формированию системы координат детали WCS, а также определению состава установочных и установочно-зажимных элементов приспособлений для обеспечения точности расположения конструктивных элементов оригинальных некруглых деталей в серийном машиностроительном производстве, позволяющий формализовать процедуры проектного базирования. Использование теории алгоритмов, автоматизации проектирования и информационных технологий позволило реализовать эти процедуры в виде системы поддержки принятия решений.

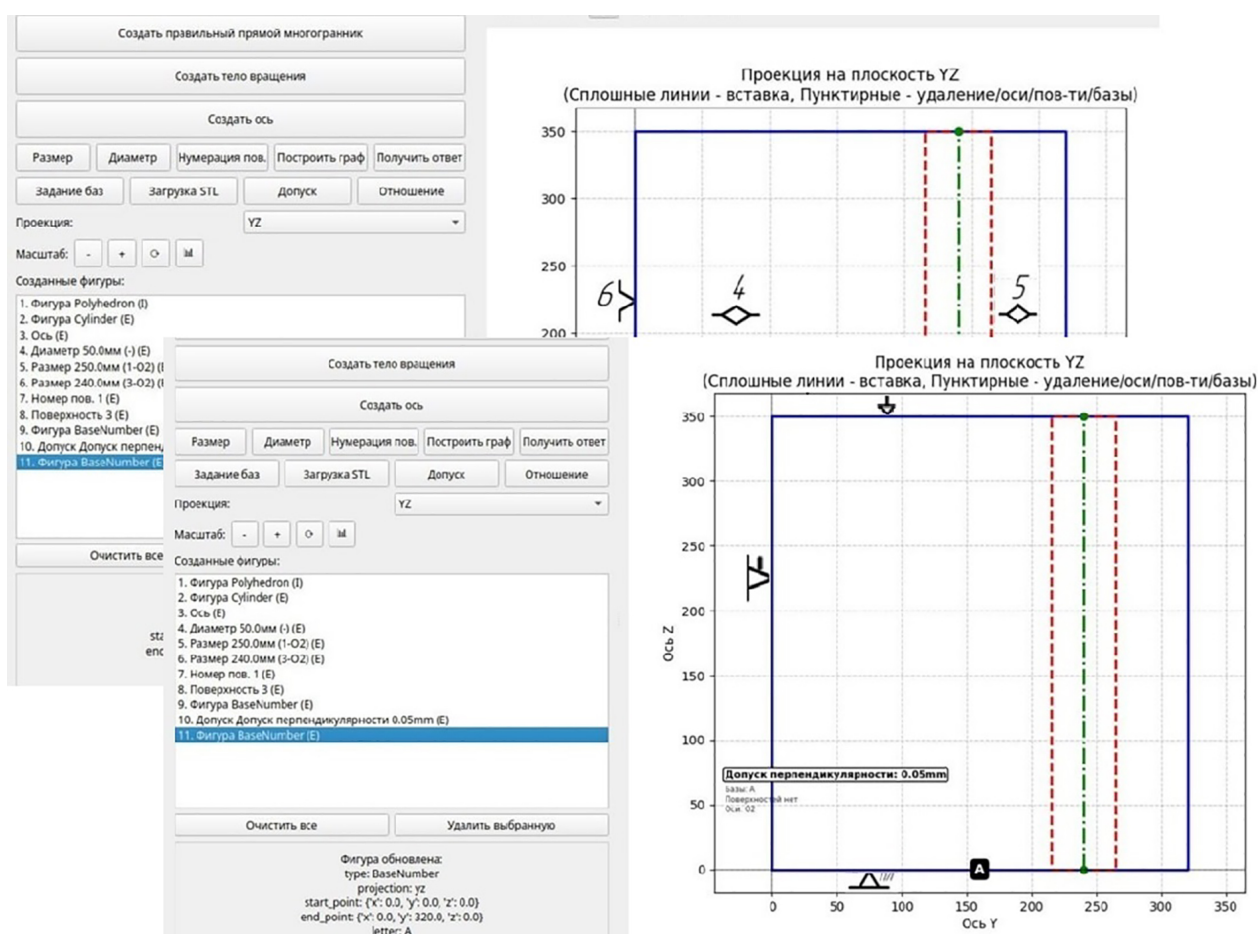


Рисунок 8 – Интерфейсы вывода информации о геометрических связях на поверхностях баз и состав установочных элементов

Figure 8 – Interfaces for outputting information about geometric relationships on base surfaces and the composition of installation elements

Использование системы в учебном процессе показало ее эффективность для сокращения сроков разработки и оформления технологических процессов изготовления деталей, повышения качества проектных решений по выбору (разработке) станочных приспособлений, что дает возможность повышения производительности труда технологов и снижения количества ошибок на этапе внедрения технологии.

Разработки могут использоваться:

- в технологических отделах машиностро-

тельных предприятий для проектирования операций изготовления деталей на фрезерных обрабатывающих центрах;

- в конструкторских бюро для проектирования станочных приспособлений;
- в организациях, специализирующихся на разработке и совершенствовании CAPP/CAM/CAFD-систем;
- в учебном процессе для подготовки специалистов в области машиностроения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляков, Н. В. Основы автоматизированного проектного базирования в субтрактивном и аддитивном машиностроительных производствах : монография / Н. В. Беляков, Н. Н. Попок ; УО «ВГТУ». – Витебск, 2023. – 183 с. [https://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/17987/Beliakov\\_Osnovy\\_avtomatizir\\_proektnogo\\_bazir.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/17987/Beliakov_Osnovy_avtomatizir_proektnogo_bazir.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
2. Лутова, Е. В. Методы автоматизированного выбора технологических баз и схем закрепления для корпусных деталей при 2,5 координатной обработке на фрезерных станках с ЧПУ / Е. В. Лутова // *Известия вузов. Северо-кавказский регион. Технические науки*. – 2011. – № 5. – С. 42–46. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-avtomatizirovannogo-vybora-tehnologicheskikh-baz-i-schem-zakrepleniya-dlya-korpusnykh-detaley-pri-2-5-koordinatnoy-obrabotke-na>.
3. Boyle, I. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches / I. Boyle, R. Rong, D. C. Brown // *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. – 2011. – № 27. – P. 1–12. – DOI: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.
4. Bakker, O. J. Active fixturing: literature review and future research directions / O. J. Bakker, T. N. Papastathis, A. A. Popov, S. M. Ratchev // *International Journal of Production Research*. – 2013. – Vol. 51. – № 11. – P. 3171–3190. – DOI:10.1080/00207543.2012.695893.
5. Gothwal, S. Different aspects in design and development of flexible fixtures: Review and future directions / S. Gothwal, T. Raj // *International Journal of Services and Operations Management*. – 2017. – Vol. 26. – № 3. – P. 386–410. – DOI:10.1504/IJSOM.2017.081944.
6. Сахаров, А. В. Определение технологических возможностей вертикального фрезерного обрабатывающего центра / А. В. Сахаров // *Станкоинструмент*. – 2020. – № 4 (021). – С. 48–52. – DOI: 10.22184/2499-9407.2020.21.04.48.52.
7. Аверьянов, Е. В. Инновации в отечественном станкостроении: модельный ряд вертикально-фрезерных обрабатывающих центров / Е. В. Аверьянов, А. К. Бокач, А. Е. Ковалев, А. Э. Шалдов // *Инновации*. – 2016. – № 8 (214). – С. 71–77. <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-v-otchestvennom-stankostroenii-modelnyy-ryad-vertikalno-frezernyh-obrabatyvayuschih-tsentrov>.
8. Ловыгин, А. А. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система : практическое пособие / А. А. Ловыгин, Л. В. Теверовский. – Москва : ДМК Пресс, 2018. – 280 с.
9. Vukelic, D. Intelligent design and optimization of machining fixtures / D. Vukelic, G. Simunovic et al. // *Tehnički vjesnik*. – 2016. – № 23(5). – P. 1325–1334. – DOI: 10.17559/TV-20150908142130.
10. Meraz, M. M. Localization of the work coordinate system using computer vision and geometric transformations on three-axis cnc milling machines / M. M. Meraz, L. J. Duarte, C. L. Hernández // *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*. – 2025. – Vol. 4. – P. 1–14. – DOI:10.4108/airo.9898.
11. Чегринец, Е. Г. CAD/CAM/CAE системы, OMW-технологии и нейросетевые алгоритмы анализа данных на предприятиях авиастроительной отрасли. – Текст : электронный // Е. Г. Чегринец, А. В. Верченко // *Труды МАИ*. – 2019. – № 104. – С. 1–26. – URL [https://trudymai.ru/upload/iblock/aeb/CHigrinets\\_Verchenko\\_rus.pdf?lang=ru&issue=104](https://trudymai.ru/upload/iblock/aeb/CHigrinets_Verchenko_rus.pdf?lang=ru&issue=104). (дата обращения: 21.03.2026).
12. Petrakov, Y. Contour milling programming technology for virtual basing on a CNC machine / Y. Petrakov, D. Shuplietsov // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – № 2(1 (98)). – P. 54–60. – DOI:10.15587/1729-4061.2019.162673.
13. Киселёв, Е. С. Применение быстросменных палетных систем нулевого базирования для увеличения производительности предприятий / Е. С. Киселёв, К. С. Жирухин // *Прогрессивные технологии и системы машиностроения*. – 2024. – № 4(87). – С. 38–45. <https://ptsmdonntu.ru/article/view/350/333>.
14. Кротов, С. Н. Системы быстрого базирования и предъявляемые к ним требования на примере SCHUNK VERO-S / С. Н. Кротов // *Станкоинструмент*. – 2016. – № 4. – С. 70–74. [https://www.stankoinst.ru/files/article\\_pdf/5/article\\_5749\\_435.pdf](https://www.stankoinst.ru/files/article_pdf/5/article_5749_435.pdf).

## REFERENCES

1. Belyakov NV, Popok NN. Osnovy avtomatizirovannogo proektnogo bazirovaniya v subtraktivnom i additivnom mashinostroitel'nykh proizvodstvakh : monografiya = Fundamentals of automated design basing in subtractive and additive mechanical engineering production: monograph. Vitebsk: UO «VGTU»; 2023:183. [https://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/17987/Beliakov\\_Osnovy\\_avtomatizir\\_proektnogo\\_bazir.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://rep.vstu.by/bitstream/handle/123456789/17987/Beliakov_Osnovy_avtomatizir_proektnogo_bazir.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
2. Lutova EV. Methods for automated selection of technological bases and fastening schemes for



body parts during 2.5-coordinate machining on CNC milling machines. *Izvestiya vuzov. Severo-kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2011;5:42–46. <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-avtomatizirovannogo-vybora-tehnologicheskikh-baz-i-shem-zakrepleniya-dlya-korpusnyh-detaley-pri-2-5-koordinatnoy-obrabotke-na>.

3. Boyle IA, Rong R, Brown DC. A review and analysis of current computer-aided fixture design approaches/ *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2011;27:1–12. – DOI: 10.1016/j.rcim.2010.05.008.

4. Bakker OJ, Papastathis TN, Popov AA, Ratchev SM. Active fixturing: literature review and future research directions. *International Journal of Production Research*. 2013;51(11):3171–3190. – DOI:10.1080/00207543.2012.695893.

5. Gothwal S, Raj T. Different aspects in design and development of flexible fixtures: Review and future directions. *International Journal of Services and Operations Management*. 2017;26(3):386–410. – DOI:10.1504/IJSOM.2017.081944.

6. Sakharov AV. Determination of the technological capabilities of a vertical milling machining center. *Stankoinstrument*. 2020;4(021):48–52. – DOI: 10.22184/2499-9407.2020.21.04.48.52

7. Aver'yanov EV, Bokach AK, Kovalev AE, Shaldov AE. Innovations in the domestic machine tool industry: a range of vertical milling machining centers. *Innovatsii = Innovations*. 2016;8(214):71–77. <https://cyberleninka.ru/article/n/innovatsii-v-otechestvennom-stankostroenii-modelnyy-ryad-vertikalno-frezernykh-obrabatyvayushih-tsentrov>.

8. Lovygin AA, Teverovskiy LV. Sovremennyy stanok s ChPU i CAD/CAM-sistema : prakticheskoe posobie = Modern CNC Machine and CAD/CAM

System: A Practical Guide. Moscow: DMK Press; 2018:280.

9. Vukelic D, Simunovic G et al. Intelligent design and optimization of machining fixtures. *Tehnički vjesnik*. 2016;23(5):1325–1334. – DOI: 10.17559/TV-20150908142130.

10. Meraz MM, Duarte LJ, Hernández CL. Localization of the work coordinate system using computer vision and geometric transformations on three-axis cnc milling machines. *EAI Endorsed Transactions on AI and Robotics*. 2025;4: 1–14. – DOI:10.4108/airo.9898.

11. Chegrinets EG, Verchenko AV. CAD/CAM/CAE systems, OMW technologies and neural network algorithms for data analysis in the aircraft manufacturing industry. *Trudy MAI*. 2019;104: 1–26. Available from: [https://trudymai.ru/upload/iblock/aeb/CHigrinets\\_Verchenko\\_rus.pdf?lang=ru&issue=104](https://trudymai.ru/upload/iblock/aeb/CHigrinets_Verchenko_rus.pdf?lang=ru&issue=104). [Accessed 21 March 2026].

12. Petrakov Y., Shuplietsov D. Contour milling programming technology for virtual basing on a CNC machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019;2(1 (98)): 54–60. – DOI:10.15587/1729-4061.2019.162673.

13. Kiselev ES, Zhirukhin KS. Using zero-based quick-change pallet systems to increase enterprise productivity. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniya*. 2024;4(87):38–45. <https://ptsmdonntu.ru/article/view/350/333>.

14. Krotov SN. Rapid deployment systems and the requirements placed on them, using the example of SCHUNK VERO-S. *Stankoinstrument*. 2016;4: 70–74. [https://www.stankoinst.ru/files/article\\_pdf/5/article\\_5749\\_435.pdf](https://www.stankoinst.ru/files/article_pdf/5/article_5749_435.pdf).

## Сведения об авторах

### Беляков Николай Владимирович

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

E-mail: [nikolay\\_belyakov@mail.ru](mailto:nikolay_belyakov@mail.ru)

### Попок Николай Николаевич

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

E-mail: [n.popok@psu.by](mailto:n.popok@psu.by)

## Information about the authors

### Nikolay V. Belyakov

Cand. Sc. in Engineering, Assoc. Prof.

Associate Professor of the Department of Technology of the Educational Institution «Vitebsk State Technological University», Vitebsk, Republic of Belarus

E-mail: [nikolay\\_belyakov@mail.ru](mailto:nikolay_belyakov@mail.ru)

### Nikolay N. Popok

D. Sc. in Eng., Prof., Head of the Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering Production of the Educational Institution «EuphrosynePolotskaya State University of Polotsk», Novopolotsk, Republic of Belarus

E-mail: [n.popok@psu.by](mailto:n.popok@psu.by)

**Махаринский Юрий Ефимович**

Доцент кафедры технологии машиностроения учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: maharinsky1957@gmail.com*

**Якушев Максим Александрович**

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

*E-mail: maxcrashemulator@gmail.com*

**Станкевич Александр Павлович**

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

*E-mail: stankevichaleks24@gmail.com*

**Yuri E. Makharinsky**

Associate Professor of the Department of Technology of the Educational Institution «Vitebsk State Technological University», Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: maharinsky1957@gmail.com*

**Maxim A. Yakushev**

Student of the Educational Institution «Vitebsk State Technological University», Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: maxcrashemulator@gmail.com*

**Alexander P. Stankevich**

Student of the Educational Institution «Vitebsk State Technological University», Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: stankevichaleks24@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 29.04.2026.



## Оценка увеличения нагрузочной способности планетарного роликовинтового механизма в зависимости от конструктивных параметров

Я. П. Зенкина

Московский государственный технический университет  
им. Н. Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

**Аннотация.** Работа посвящена разработке нового подхода к оценке статической и динамической грузоподъемности планетарных роликовинтовых механизмов (ПРВМ) для совершенствования их конструктивных параметров и ускорения процесса создания новых изделий. Существующие классические расчетные модели опираются на эмпирические исследования и обладают серьезным ограничением: они не учитывают влияние геометрических параметров резьбы и статичны по своей сути. Это не позволяет оценить динамику изменения конструктивных характеристик механизма, среди которых определяющую роль играет угол профиля резьбы, непосредственно влияющий на распределение напряжений и общую надежность. В качестве методов исследования в работе применено математическое моделирование, позволившее отойти от сугубо эмпирических расчетов. Автором создана оригинальная расчетная методика, учитывающая геометрию резьбовых деталей и изменчивость угла профиля витков, от которого зависит концентрация напряжений в зацеплении. Эффективность предложенного подхода подтверждена сравнительным анализом стандартной конструкции ПРВМ с углом профиля  $90^\circ$  и модернизированного варианта с углом профиля  $70^\circ$ . Расчеты доказали, что уменьшение угла профиля витков обеспечивает превосходство в нагрузочной способности по сравнению с традиционным исполнением. Область применения результатов охватывает инженерно-технические центры и конструкторские бюро. Разработанный инструментарий может эффективно использоваться при создании и модернизации силовых линейных приводов с повышенным ресурсом работы для нужд машиностроения, авиастроения и робототехники.

*Ключевые слова:* планетарный роликовинтовой механизм, нагрузочная способность, статическая грузоподъемность, динамическая грузоподъемность, неравномерность нагружения витков, угол профиля резьбы.

## Evaluation of the Increase in the Load Capacity of the Planetary Roller Screw Mechanism Depending on the Design Parameters

Yana P. Zenkina

Moscow State Technical University N. E. Bauman,  
Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The paper is devoted to a new approach for evaluating the static and dynamic load capacity of planetary roller screw mechanisms (PRSM) to improve design parameters and accelerate product development. Existing classical models rely on empirical studies and lack consideration of thread geometry. This limitation prevents assessing the dynamics of design characteristics, specifically the thread profile angle, which critically influences stress distribution and overall mechanism reliability. As research methods, the paper utilizes mathematical modeling to move away from purely empirical calculations. The author developed an original method accounting for threaded component geometry and profile angle variability, which dictates stress concentration in the mesh. The approach's effectiveness is validated via a comparative analysis of a standard PRSM ( $90^\circ$  profile angle) and a modernized version ( $70^\circ$  profile angle). Calculations proved that reducing the profile angle ensures superior load capacity over traditional designs. The scope of application covers engineering centers and design bureaus. The developed tools

can be effectively used to design and modernize heavy-duty linear actuators with an increased operating life for mechanical engineering, aerospace, and robotics.

*Keywords: planetary roller screw mechanism, load capacity, static load capacity, dynamic load capacity, uneven loading of threads, thread profile angle.*

## INTRODUCTION

The development of new mechanical engineering products and the modernization of existing ones must be carried out in accordance with the main trends in mechanical engineering.

In aircraft and rocket technology, ball screw mechanisms (BSM) are used to convert rotary motion into linear motion; they have a lower load capacity than planetary roller screw mechanisms (PRSM). To improve the quality of such mechanisms, there is a trend to replace hydraulic cylinders with electromechanical drives, the power mechanism of which must have a high load capacity. PRSM is such a mechanism [1, 2, 3].

One of the trends in mechanical engineering development is increasing the load capacity of mechanical engineering products, which for the aerospace industry translates into increasing load capacity without increasing weight.

This means that devices must be modernized to transition to a lighter-weight design, which must maintain the load-carrying capacity of the previous, heavier device. Load capacity is the maximum load (force) a device (mechanism) can withstand without parametric failure, functional damage, or loss of functionality under specified conditions.

A review of foreign literature [4–7] showed that the determining factors for static strength are uneven load distribution and manufacturing errors, while durability under extreme conditions is limited by contact fatigue wear mechanisms under linear coupling conditions.

Along with theoretical models, there are industry design standards implemented in the designs of manufacturers. Using reference data, such as static and dynamic load capacities, provided in manufacturers' catalogs to calculate such transmissions presents a number of challenges for the following reasons.

1. In the PRSM catalogs, for each standard size of the mechanism, a set of numerical values of its main parameters is given. These characteristics are given without a methodology for their assessment, which makes it impossible to apply them. The connection and overall parameters of the mechanism are given structurally. Data is provided only for the assembly unit, without information about specific details, including limiting loads.

2. When synthesizing a machine unit, it may turn out that the required transmission or actuator is not presented in the catalog.

3. The lack of data on the methodology for determining dynamic characteristics precludes design modifications by changing roller lengths.

4. The lack of data on methods does not allow us to evaluate new constructive designs of mechanisms that are not presented in the catalog, and at least approximately estimate their resource.

Taking into account the arguments presented above, the objective of this work is to develop a method for predicting the static and dynamic load capacity of the PRSM, depending on the mechanism structure, the dimensions of its components, the acting loads, and the mechanical characteristics of the materials from which these components are made. Previously, such a technique was developed in [8], but this technique does not provide for the possibility of modifying the angle  $\alpha$  of the profile of threaded parts of PRSM. To achieve this goal, the task is to modernize the method proposed in [9], i.e., it is necessary to take into account the possibility of changing the profile angle of the threaded components of the PRSM.

## MAIN PART. General Calculation Assumptions

To develop the methodology, the general calculation assumptions discussed in [10, 11] were adopted:

1. All threaded components of the PRSM are manufactured with absolute precision.

2. The uneven distribution of the axial force  $F_A$  of the mating PRSM components in the direction of tension-compression displacement is not taken into account; i.e., all rollers are equally loaded with the axial force  $F_A$ .

3. From a strength perspective, the worst-case scenario is considered when there are depressions in the mating surface; i.e., the effective length of the roller  $L_r$  is assumed to be equal to the length of the nut  $L_n$ .

4. The replacement of the roller and nut threads with annular projections is considered.

5. The initial contact points of the mating threads of the nut and roller and the mating threads of the roller and screw are assumed to be located at the mid-diameters of the mating PRSM components.

6. Taking into account all the assumptions made, we have identical nominal axial forces  $F$  in the mating surfaces of the roller threads with the nut threads and with the screw threads.

## Development of a methodology for assessing the static and dynamic load capacity of the PRSM

Let us consider the case when the working axial

force  $F_{n\Sigma}$  is applied to the nut. Taking into account the nominal axial force  $F = F_{A\Sigma} / N$ , the following dependence is obtained

$$F = \frac{F_{n\Sigma}}{N \cdot m_p} = \frac{F_{n\Sigma} \cdot P}{N \cdot L_p}, \quad (1)$$

where  $F$  is the axial force;  $N$  is the number of rollers;  $m_p = L_p / P$  is the number of roller turns in the two specified mating positions;  $L_p$  is the length of the threaded portion of the roller;  $P$  is the thread pitch of the PRSM components.

In the work [10, 11] the overturning moment of the roller was derived, which takes the form taking into account the working axial force  $F_{n\Sigma}$ :

$$M_x = (F_{n\Sigma} \cdot d_{2p}) / N. \quad (2)$$

Then we obtain a dependence taking into account the profile angle of the threaded parts of the PRSM:

$$M_x \approx \frac{4 \cdot F_{MAX}^* \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot P}{k} \cdot \sum_{j=1}^k J^2, \quad (3)$$

where  $\sum_{j=1}^k J^2$  – sum of the number of turns on the roller's generatrix;  $k = L_p / (2 \cdot P)$  – number of working turns (number of radial forces).

Using equation (3), we find the maximum force:

$$F_{MAX}^* \approx \frac{F_{T\Sigma} \cdot d_{2p} \cdot L_p}{4 \cdot 2 \cdot N \cdot P^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot \sum_{j=1}^k J^2}. \quad (4)$$

The resulting formula (4) takes into account the change in the angle  $\alpha$  of the PRSM threaded parts profile. And the maximum force value  $F_{MAX}^*$  can be used to determine the load distribution between the threads of the PRSM threaded parts.

Then, taking into account the obtained formulas, we can clarify the coefficient of uneven loading of the threaded parts of the PRSM:

$$K_H = \frac{F + F_{MAX}^*}{F} = \left( \frac{F_{n\Sigma} \cdot P}{N \cdot L_p} + \frac{F_{n\Sigma} \cdot d_{2p} \cdot L_p}{4 \cdot 2 \cdot N \cdot P^2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot \sum_{j=1}^k J^2} \right) \cdot \frac{N \cdot L_p}{F_{n\Sigma} \cdot P}.$$

Therefore:

$$K_H = \left( 1 + \frac{d_{2p} \cdot L_p^2}{8 \cdot P^3 \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2) \cdot \sum_{j=1}^k J^2} \right). \quad (5)$$

From equation (5) it is evident that the obtained coefficient of uneven loading of the threaded parts of

the PRSM does not depend on the working axial force  $F_{n\Sigma}$  acting on the output link of the PRSM.

To determine the static lifting capacity of a planetary roller screw mechanism, it is necessary to consider the maximum compressive force  $F_{MAX}$  acting on the mechanism's output link. If the maximum equivalent stresses  $\sigma_{MAX}$  in the most heavily loaded roller turn are equal to the permissible stresses  $[\sigma]$ , then the working axial force  $F_{n\Sigma}$  will be equal to the static lifting capacity of the PRSM  $C_{a0}$ . From this, we obtain the condition for the static lifting capacity:

$$F_{MAX} \leq C_{a0}.$$

In accordance with GOST 18854-2013, the axial static load capacity of the PRSM is determined by the initial plastic deformation condition. To simplify calculations, it is assumed that the permissible axial force on a static transmission is determined by the condition of initial plastic deformation. The critical threshold is the ultimate strength  $\sigma_u$  in the most heavily loaded roller thread of the PRSM. With this  $\sigma_u$  value, the residual deformation in the contact zones of the rollers with the screw and nut threads is approximately equal to 0.0001 times the double radius  $R$  of the roller profile.

To calculate the axial static load capacity, it is necessary to determine the permissible design stresses. Due to the high cost of full-scale testing of actual structures, it is most likely that the manufacturer SKF reduces the determination of the PRSM passport parameters to an analytical method, based on analogs – rolling bearings, as noted in [11]. The nature of the contact interaction in PRSM is closest to the nature of the contact interaction in thrust-radial bearings [11].

For thrust or thrust-radial bearings, the value of  $C_{a0}$  permissible contact stress is  $[\sigma] = 4200$  MPa [11]. Hence,  $\sigma_{MAX} = 4200$  MPa, and the force  $F_{n\Sigma}$  corresponding to these stresses is  $C_{a0}$  static load capacity of the PRSM.

In order to calculate  $\sigma_{MAX}$  from the action of the working force  $F_{n\Sigma}$ , for a PRSM with arbitrary geometry, it is necessary to use the Hertz solution [12, 13] for the initial point contact, the contact area (Fig. 1) is considered to be flat elliptical.

The theory of elastic deformations of complex-shaped bodies at their points of contact allows us to determine the shape and dimensions of the contact area, the magnitude and nature of the pressure distribution over the contact area, and the degree of convergence of the bodies. This requires knowledge of the principal curvatures of the contacting surfaces at the point of initial contact, the elastic constants of the material, and the magnitude of the applied load. This problem is examined in detail in [12] in a general form. The data presented allow us to easily determine the shape

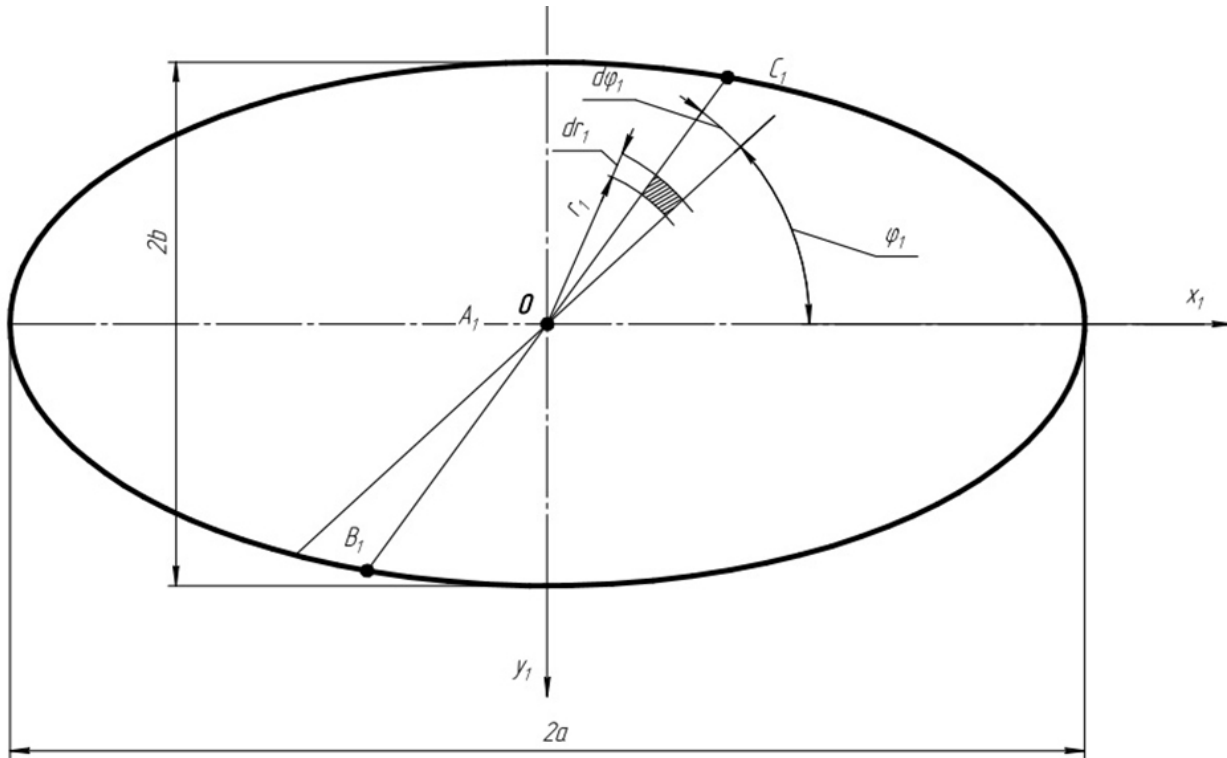


Figure 1 – Contact area at initial point contact, where  $a$  is the major semi-axis and  $b$  is the minor semi-axis

of the contact area and the maximum stresses in the contact zone of two elastic bodies for various cases encountered in practice.

For our case, the contact pressure  $q$  is distributed on a flat elliptical area over half of the ellipsoid, where the greatest contact pressure  $q_{MAX}$  will be located in the center of the ellipsoid (Formula 7), and the area of the elliptical contact area with the major  $a$  and minor  $b$  semi-axes (Formula 6); a detailed calculation of the contact pressure for the PRSM was given in [10, 11].

$$a = n_a \cdot \sqrt[3]{\frac{3 E^* \cdot F_{n,MAX}}{2 \sum \kappa}},$$

$$b = n_b \cdot \sqrt[3]{\frac{3 E^* \cdot F_{n,MAX}}{2 \sum \kappa}}. \quad (6)$$

And the greatest contact pressure occurs at the center of the contact area (the solution to the Hertz problem is given):

$$q_{MAX} = \frac{n_p}{\pi} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \left( \sum \kappa \right)^2}{2 E^*}} \cdot F_{n,MAX}, \quad (7)$$

where  $E^*$  – is the elastic constant of the PRSM component materials;  $\sum \kappa$  – is the sum of the principal curvatures of the mating turns at the point of their initial contact;  $n_a$ ,  $n_b$  and  $n_p$  – are coefficients determining the dimensions of the contact area and the magnitude of the maximum contact pressure.

The value of the elastic constant  $E^*$  for a screw and roller made of steel IIIХ15 (ShKh15) or XBГ (KhVG), 20Х3МВФ (20Kh3MVF), etc.:

$$E^* = 0,867 \cdot 10^5 \text{ 1/MPa}.$$

The sum of the principal curvatures at the point of initial contact of the screw and roller turns is given in the formula:

$$\sum \kappa = \frac{\sqrt{2}}{d_{2B}} + \frac{4 \cdot \sin(\alpha/2)}{d_{2p}}. \quad (8)$$

In the work [10, 11] the dependence of the argument is given as  $\Omega$ :

$$\Omega = \sqrt{2} \cdot d_{2p} / (\sqrt{2} \cdot d_{2p} + 4 \cdot d_{2B} \cdot \sin(\alpha/2)). \quad (9)$$

The regression dependences of the coefficients  $n_a$ ,  $n_b$  and  $n_p$  on the argument  $\Omega$  take the form

$$\begin{aligned} n_a &= 1,4077 \cdot \Omega^{0,11664}, \\ n_b &= 0,73537 \cdot \Omega^{0,10288}, \\ n_p &= 0,96626 \cdot \Omega^{0,013655}. \end{aligned} \quad (10)$$

Using the Hertz contact problem for initial point contact, the greatest contact pressure, we obtain:

$$q_{MAX} = \frac{n_p}{\pi} \cdot \sqrt[3]{\frac{3 \left( \sum \kappa \right)^2}{2 E^*} \cdot \frac{F_{n\Sigma} \cdot P \cdot K_H}{N \cdot L_p \cdot \cos(\alpha/2)}} \quad (11)$$

We determine the permissible static axial force ( $C_{a0} = F_{n\Sigma}$  static load capacity). We calculate the maximum axial force  $F_{BMAX}$  acting between the pair of most heavily loaded screw and roller threads based on formula (1), taking into account the coefficient of uneven loading of the threaded parts of the PRSM.

$$F_{B \max} = \frac{F_{n\Sigma} \cdot P \cdot K_H}{N \cdot L_p} \quad (12)$$

To determine the contact stresses acting between the pair of most loaded turns of the screw and roller, the maximum normal force in the contact zone takes the form:

$$F_{n \max} = \frac{F_{B \max}}{\cos(\alpha/2)} = \frac{F_{n\Sigma} \cdot P \cdot K_H}{N \cdot L_p \cdot \cos(\alpha/2)} \quad (13)$$

In accordance with GOST 18854-2013, the basic static axial load capacity is  $C_{a0} = 4200 \text{ N}$ . Then the force  $F_{n\Sigma}$  corresponding to these stresses is the static load capacity of the PRSM  $C_{a0}$ .

By solving the given problem, we obtain the dependence for the static load-bearing capacity:

$$C_{a0} = \frac{2 \cdot N \cdot L_p \cdot \cos(\alpha/2) \cdot \left( \frac{4200 \cdot \pi}{n_p} \right)^3}{3 \cdot P \cdot K_H} \cdot \left( \frac{E^*}{\sum \kappa} \right)^2 \quad (14)$$

Roller screw drives are also calculated for dynamic load capacity  $C_a$ .

Based on the results of work [11], it is possible to obtain the dependence of the static  $C_{a0}$  and dynamic  $C_a$  lifting capacity, which are in correlation with the average diameter of the screw thread  $d_{2B}$  and the displacement of the output link of the PRSM in one revolution of its input link  $P_h$ , which determine the size of the PRSM.

As a result, the above correlation takes the form of a power-law dependence of the coefficient  $k_C$ :

$$k_C = 0,3638 \cdot d_{2B}^{0,5229} \cdot P_h^{-0,2027} \quad (15)$$

The coefficient  $k_C$  evaluates the ratio of static and dynamic load capacities

$$k_C = C_{a0} / C_a$$

From here:

$$C_a = C_{a0} / k_C \quad (16)$$

#### Methodology for predicting the static and dynamic load capacity of the PRSM

Initial data. Calculation for a thread profile angle of  $\alpha = 90^\circ$ .

We use the vector of geometric characteristics and the vector of strength characteristics obtained from the proposed methods for determining geometric and strength parameters outlined in [11, 14]. We set the basic requirements for ensuring the total operating time.

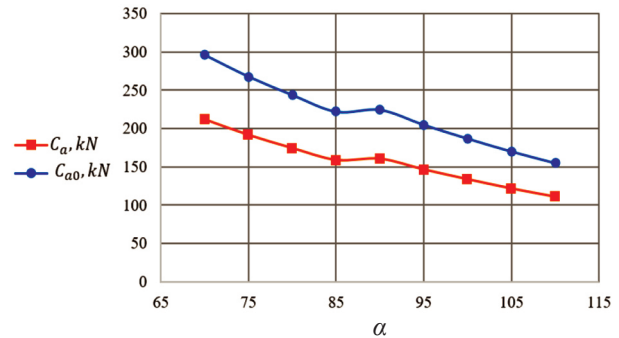
#### Calculation:

1. Using formula (14), we determine the static load capacity for the PRSM;
2. We determine the coefficient  $k_C$  using formula (15);
3. We determine the dynamic load capacity  $C_a$  using formula (16).

#### Analysis of calculation results using the modernized methodology

Using this methodology, a Delphi computer program was developed that allows one to determine the values of static  $C_{a0}$  and dynamic  $C_a$  load capacities depending on the  $\alpha$  profile angle of the threaded parts of the PRSM. The obtained  $C_{a0}$  value coincided with the value obtained in [11] with an error of 2 %. This does not exceed the permissible value of 10 %, which confirms the accuracy of the conducted research.

Let us consider the graphs (Fig. 2) of the dependence of the static  $C_{a0}$  and dynamic  $C_a$  lifting capacities on the profile angle of the threaded parts of the PRSM using the example of the PRSM of size 39×15.



**Figure 2 – Dependences of static  $C_{a0}$  and dynamic  $C_a$  lifting capacities for size 39×15 on the angle  $\alpha$  of the profile of the threaded parts of the PRSM**



From Figure 2 it can be seen that the value of the maximum load capacity for this size 39×15 is at an angle of  $\alpha = 70^\circ$ , and this value is 32 % greater compared to the traditional profile angle  $\alpha = 90^\circ$ .

From this, we can conclude that the load-bearing capacity of the PRSM does increase with changes in the  $\alpha$  angle of the PRSM threaded parts. Therefore, the proposed prediction method describes the obtained values of static  $C_{a0}$  and dynamic  $C_a$  load-bearing capacities with sufficient accuracy and can be used.

It is worth noting that the data presented in Figure 2 correspond to the elastic constant  $E^* = 0,867 \cdot 10^{-5}$  1/MPa, which depends on the material

of the manufactured PRSM parts. This means that as the material changes, the data presented will change.

SKF and Ewellix catalogs use X5CrNiCuNb16-4 steel, which has a first-order elastic modulus of  $E_B = 1,96$  МПа and a Poisson's ratio of  $\mu_B = 0,3$ . The elastic constant  $E^*$  will change accordingly. This suggests that the static and dynamic load capacities of PRSMs are directly dependent on the structural materials used.

Let's consider the example of a 39×15-size PRSM, taking into account the material change. For a thread profile angle of  $\alpha = 90^\circ$ , the PRSM parts are shown in Table 1. The calculation results are summarized in Table 1.

**Table 1 – Load capacities  $C_{a0}$  and  $C_a$  of the designed PRSM of size 39×15 in comparison with other catalogues**

| Parameter                    | $C_{a0}$ , kN | Error in comparison with the method, % | $C_a$ , kN | Error in comparison with the method, % |
|------------------------------|---------------|----------------------------------------|------------|----------------------------------------|
| SKF Catalog                  | 272,89        | 5,30                                   | 167,64     | 8,00                                   |
| Ewellix Catalog              | 273,00        | 5,40                                   | 168,00     | 7,80                                   |
| According to the methodology | 258,40        | 0,00                                   | 181,10     | 0,00                                   |

A comparative analysis of data from catalogues of leading manufacturers and the results obtained using the method of predicting dynamic  $C_a$  and  $C_{a0}$  static load capacity confirms the reliability of the calculations: the deviation of the values does not exceed 10%.

Thus, the proposed forecasting method describes the obtained values of static and dynamic load capacities with sufficient accuracy and can be used.

## CONCLUSION

This article examines the potential for increasing the load capacity of a planetary roller screw mechanism depending on its design parameters. Changing the profile angles increased the load capacity of the modernized PRSM ( $\alpha = 70^\circ$ ), necessitating the development of a calculation methodology and

algorithm that takes into account arbitrary values of this angle. The following key results and conclusions were obtained by solving the problem posed in this article.

1. A method for predicting static and dynamic load capacities is proposed, taking into account changes in the profile angle of PRSM threaded components.
2. Application of the developed load capacity prediction method showed that switching from a traditional profile angle to a modernized one provides a 32 % increase in static and dynamic load capacities.
3. The developed algorithm for calculating the service life and dynamic load capacities is an effective tool for designing new PRSM models. Using these solutions allows for the creation of transmissions with improved technical characteristics.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикун, Е. В. Надежность и долговечность роликвинтовых механизмов для изделий аэрокосмической техники / Е. В. Дикун, Д. С. Блинов, А. Ю. Колобов // XLVI Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С. П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. Королёвские чтения 2022: XLVI Академические чтения по космонавтике, Москва, 25–28 января 2022 года. Том 4. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2022. – С. 17–20.

2. Блинов, Д. С. Проектирование планетарных роликвинтовых механизмов для электромеханических приводов летательных аппаратов (теория) / Д. С. Блинов, А. Ю. Колобов, Е. В. Дикун // *Справочник. Инженерный журнал*. – 2018. – № 8. – С. 14–23. – DOI: 10.14489/hb.2018.08.pp.014-023.

3. Блинов, Д. С., Леонтьев, С. К., Морозов, М. И. Перспективные роликвинтовые механизмы электромеханических приводов для авиационной и ракетной техники / Д. С. Блинов, С. К. Леонтьев, М. И. Морозов // *Вестник воздушно-космической*



обороны. – 2017. – № 1 (13). – С. 66–71. [http://www.raspletin.com/NOC/vko/VKO\\_1\(13\).pdf](http://www.raspletin.com/NOC/vko/VKO_1(13).pdf).

4. Miao, J. Performance and challenges of planetary roller screw mechanism in complex conditions: *A comprehensive review of recent progress* / J. Miao, R. Tang, X. Du, X. Shan // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. – 2025. – Vol. 239(11). – P. 4298–4322. – DOI: 0.1177/09544062251318929.

5. Xing, M. Multi-rollers statics analysis of planetary roller screw mechanism based on explicit expression / M. Xing, S. Liu, Z. Cheng, Y. Cui, L. Zu, J. Xu // *Tribology International*. – 2024. – Vol. 197. – P. 109818. – DOI: 10.1016/j.triboint.2024.109818.

6. Fu, X. A multi-roller static model of the planetary roller screw mechanism considering load sharing / X. Fu, X. Li, Sh. Ma, D. Gerada, G. Liu, Ch. Gerada // *Tribology International*. – 2022. – Vol. 173. – P. 107648.

7. Li, X. Review on Motion and Load-Bearing Characteristics of the Planetary Roller Screw Mechanism / X. Li, G. Liu, X. Fu, S. Ma // *Machines*. – 2022. – № 10(5). – P. 317. – DOI: 10.3390/machines10050317.

8. Блинов, Д. С., Морозов, М. И. Прогнозирование нагрузочной способности роликовинтовых механизмов / Д. С. Блинов, М. И. Морозов // *Приводы и компоненты машин*. – 2014. – № 1. – С. 12–14.

9. Блинов, Д. С. Прогнозирование ресурса винтовых механизмов качения / Д. С. Блинов, М. И. Мо-

розов // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2015. – № 2. – С. 24–41.

10. Блинов, Д. С., Зенкина, Я. П., Нахатакян, Ф. Г. Контактное взаимодействие ролика в планетарной роликовинтовой передаче и его влияние на нагрузочную способность механизма / Д. С. Блинов, Я. П. Зенкина, Ф. Г. Нахатакян // *Вестник машиностроения*. – 2022. – № 6. – С. 30–37. – DOI: 10.36652/0042-4633-2022-6-30-37.

11. Блинов, Д. С. Винтовые передачи линейных приводов / Д. С. Блинов. – Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2021. – 200 с.

12. Пономарев, С. Д., Бидерман, В. Л., Лихарев, К. К. Расчеты на прочность в машиностроении / С. Д. Пономарев, В. Л. Бидерман, К. К. Лихарев. – Москва: Машгиз, 1958. – Т. II. – 974 с.

13. Феодосьев, В. И. Сопротивление материалов. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 543 с.

14. Блинов, Д. С. Общий случай определения размеров и полей допусков на них для резьбовых деталей планетарных роликовинтовых механизмов – Текст : электронный / Д. С. Блинов, Я. П. Зенкина // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. – 2017. – № 4. – С. 16–32. – URL: <https://scispace.com/journals/science-and-education-of-the-bauman-mstu-3ggm6d3d> (дата обращения: 15.05.2026). – DOI: 10.7463/0417.0001123.

## REFERENCES

1. Dikun EV, Blinov DS, Kolobov AYU. Reliability and Durability of Roller Screw Mechanisms for Aerospace Products. In: XLVI Akademicheskie chteniya po kosmonavtike, posvyashchennye pamyati akademika S.P. Korolyova i drugih vydayushchikhsya otechestvennykh uchenykh – pionerov osvoiniya kosmicheskogo prostranstva. Korolyovskie chteniya 2022: XLVI Akademicheskie chteniya po kosmonavtike = XLVI Academic Readings on Cosmonautics, dedicated to the memory of Academician SP Korolev and other outstanding Russian scientists – pioneers of space exploration. Korolev Readings 2022: XLVI Academic Readings on Cosmonautics, 25–28 January, 2022, Moscow. Moscow: Publishing House of Bauman Moscow State Technical University; 2022;4:17–20. (In Russ.).

2. Blinov DS, KolobovAYU, Dikun EV. Designing of planetary roller-screw mechanisms for electromechanical aircraft actuators (theory). *Spravochnik. Inzhenernyi zhurnal = Handbook. An Engineering Journal*. 2018;8:14-23. – DOI: 10.14489/hb.2018.08.pp.014-023. (In Russ.).

3. Blinov DS, Leontyev SK, Morozov MI. Promising roller-screw mechanisms of electromechanical drives for aviation and rocket technology. *Vestnik vozdušno-kosmicheskoy oborony = Journal «Aerospace Defense Herald»*. 2017;1(13):66-71. [http://www.raspletin.com/NOC/vko/VKO\\_1\(13\).pdf](http://www.raspletin.com/NOC/vko/VKO_1(13).pdf) (In Russ.).

4. Miao J, Tang R, Du X, Shan X. Performance and challenges of planetary roller screw mechanism in complex conditions: *A comprehensive review of recent progress. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 2025;239(11):4298-4322. – DOI: 0.1177/09544062251318929.

5. Xing M, Liu S, Cheng Z, Cui Y, Zu L, Xu J. Multi-rollers statics analysis of planetary roller screw mechanism based on explicit expression. *Tribology International*. 2024;197:109818. – DOI: 10.1016/j.triboint.2024.109818.

6. Fu X, Li X, Ma Sh, Gerada D, Liu G, Gerada Ch. A multi-roller static model of the planetary roller screw mechanism considering load sharing. *Tribology International*. 2022;173:107648. –

DOI: 10.1016/j.triboint.2022.107648.

7. Li X, Liu G, Fu X, Ma S. Review on Motion and Load-Bearing Characteristics of the Planetary Roller Screw Mechanism. *Machines*. 2022;10(5):317. – DOI: 10.3390/machines10050317.

8. Blinov DS, Morozov MI. Forecasting the load capacity of roller screw mechanisms. *Privody i komponenty mashin = Machine drives and parts*. 2014;1:12-14. (In Russ.).

9. Blinov DS, Morozov MI. Predicting rolling screw mechanisms service life. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman = Science and Education of the Bauman MSTU (MGTU im. N.E. Bauman)*. 2015;2:24-41. – DOI: 10.7463/0215.0756784 (In Russ.).

10. Blinov DS, ZenkinaYaP, Nakhatakyan FG. Contact interactions of the roller in a planetary roller screw and their influence on the load capacity. *Vestnik mashinostroeniya = Russian Engineering Research*. 2022;9(42):884-890. – DOI: 10.36652/0042-4633-2022-6-30-37 (In Russ.).

11. Blinov DS. Vintovye peredachi lineynykh privodov = Screw transmissions of linear drives. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman; 2021:200. (In Russ.).

12. Ponomarev SD, Biderman VL, Likharev KK. Raschety na prochnost' v mashinostroenii = Strength Calculations in Mechanical Engineering. Moscow: Mashgiz; 1958;II:974. (In Russ.).

13. Feodosyev VI. Soprotivlenie materialov = Strength of Materials. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman; 2016:543. (In Russ.).

14. Blinov DS, ZenkinaYaP. A General Case to Determine Dimensions and Their Tolerance Zones for the Thread Parts of Epicyclic Roller-Screw Mechanisms. *Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Bauman = Science and Education of the Bauman MSTU (MGTU im. N.E. Bauman)*. 2017;4:16-32. Available from: <https://scispace.com/journals/science-and-education-of-the-bauman-mstu-3ggm6d3d>. [Accessed 15 May 2026]. – DOI: 10.7463/0417.0001123 (In Russ.).

#### Сведения об авторах

##### **Зенкина Яна Павловна**

Старший преподаватель кафедры «Теория механизмов и машин» Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Российская Федерация

*E-mail:* [zenkina.y@bmstu.ru](mailto:zenkina.y@bmstu.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-7796-4539>

#### Information about the authors

##### **Yana P. Zenkina**

Senior lecturer of the Department Theory of Mechanisms and Machines, «Moscow State Technical University N.E. Bauman», Moscow, Russia

*E-mail:* [zenkina.y@bmstu.ru](mailto:zenkina.y@bmstu.ru)

ORCID: <http://orcid.org/0009-0006-7796-4539>

Статья поступила в редакцию 27.05.2026.

## Метод снижения шума и вибраций при эксплуатации МНОГОИГОЛЬНЫХ ВЫШИВАЛЬНЫХ ПОЛУАВТОМАТОВ

Ю. В. Новиков,  
Д. А. Тёмкин

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

**Аннотация.** Актуальность темы обусловлена устойчивой тенденцией роста вибрационных нагрузок в высокопроизводительном технологическом оборудовании лёгкой промышленности, вызванной снижением его массы и жёсткости при одновременном повышении рабочих скоростей. Проблема заключается в том, что повышенные вибрации и шума многоигольного вышивального полуавтомата со швейными головками ухудшают качество вышивки, снижают ресурс оборудования и негативно влияют на здоровье обслуживающего персонала. Цель работы – снижение уровня вибраций и шума путём уравнивания сил инерции движущихся звеньев механизмов иглы и нитепритягивателя.

Методы исследования включают аналитическое моделирование сил инерции с применением ЭВМ, расчёт оптимальных статических моментов противовеса, экспериментальную проверку на опытном образце с различными массами кривошипа, а также спектральный анализ виброскорости и уровня шума в октавных полосах частот. Полученные результаты: определён оптимальный статический момент противовеса ( $2,5 \times 10^{-3}$  кг·м), обеспечивающий минимальную сумму горизонтальной и вертикальной составляющих виброскорости в зоне игольной пластины; выявлено, что уравнивание сил инерции не оказывает существенного влияния на уровень шума; дополнительное улучшение углов передачи в механизме нитепритягивателя позволяет снизить шум на 2–3 дБ. Область применения результатов – модернизация вышивальных полуавтоматов и швейных машин в вышивальные полуавтоматы на предприятиях лёгкой промышленности.

*Ключевые слова:* вышивальный полуавтомат, вибрация, шум, уравнивание сил инерции, противовес, механизм иглы, нитепритягиватель, кривошип, динамические характеристики, швейная машина.

## Analytical Method for Reducing Noise and Vibration during Operation of Multi-Needle Semi-Automatic Embroidery Machines

Yu. V. Novikov,  
D. A. Tsiomkin

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

**Abstract.** The relevance of this topic stems from a persistent trend toward increasing vibration loads in high-performance light industry equipment, caused by the reduction in weight and rigidity while simultaneously increasing operating speeds. The problem is that increased vibration and noise from multi-needle semiautomatic embroidery machines with sewing heads degrades embroidery quality, reduces the equipment's service life, and negatively impacts the health of operating personnel. The goal of this study is to reduce vibration and noise levels by balancing the inertial forces of the moving parts of the needle and thread take-up mechanisms.

Research methods include computer-aided analytical modeling of inertial forces, calculation of optimal static counterweight moments, experimental testing on a prototype with varying crank masses, and spectral analysis of vibration velocity and noise levels in octave frequency bands. The results obtained: the optimal static counterweight moment ( $2.5 \times 10^{-3}$  kg m) was determined, ensuring the minimum sum of the horizontal and vertical components of vibration velocity in the needle plate area. It was found that balancing the inertial forces does not significantly affect the noise level. Further improvement of the transmission angles in the thread take-up mechanism reduces noise by 2–3 dB. The area of application of these results is the modernization of semi-automatic embroidery and sewing

machines into semi-automatic embroidery machines in light industry enterprises.

*Keywords: semiautomatic embroidery machine, vibration, noise, inertial force balancing, counterweight, needle mechanism, thread take-up, crank, dynamic characteristics, sewing machine.*

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в связи с бурным развитием техники увеличились уровни шума и вибрации. Наблюдается тенденция увеличения мощности машин и производительности технологического оборудования при одновременном уменьшении веса и габаритов с целью максимального использования площадей и экономии материалов. Уменьшение веса оборудования приводит к значительным вибрациям из-за недостатка жёсткости конструкций. Подавление шума и вибрации стало актуальной проблемой современности, позволяющей высвободить дополнительные резервы для увеличения производительности труда. Особенно остро эта проблема стоит для многоигольных вышивальных полуавтоматов, оснащённых оригинальным механизмом привода игловодителя и нитепритягивателя, где дополнительные вибрации создаются также устройством сцепления иглодержателей с игловодителем.

Целью настоящей работы является снижение уровня шума и вибрации вышивального полуавтомата путём уравнивания сил инерции движущихся звеньев механизмов иглы и нитепритягивателя. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Выполнить аналитическое уравнивание сил инерции звеньев за счёт силы инерции вращающегося противовеса, установленного на кривошипе; определить оптимальный статический момент массы противовеса, обеспечивающий минимальную сумму горизонтальной и вертикальной составляющих виброскорости в контролируемой точке платформы в районе игольной пластины.
2. Экспериментально уточнить влияние статического момента противовеса на уровень шума и вибрации; исследовать возможность дополнительного снижения шума за счёт улучшения углов передачи в механизме нитепритягивателя.

Методы исследования включают аналитическое моделирование сил инерции с применением ЭВМ (программа «Шум-3»), расчёт параметров противовеса на основе уравнений динамики, экспериментальное определение виброскорости и уровня шума на опытном образце с изменяемой массой кривошипа (регулировка от  $-57$  до  $+25$  г·см), спектральный анализ колебаний в октавных полосах частот ( $63$ – $8000$  Гц), а также сравнительные испытания механизма нитепритягивателя с оптимизированными углами передачи.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Методы уменьшения параметров колебаний: уравнивание сил инерции звеньев, демпфирование колебаний, виброизоляция. Силы инерции вращающихся масс уменьшают за счёт балансировки этих масс. Неуравновешенные силы создают значительные амплитуды колебаний. Необходимо определить места, в которых надо установить дополнительные уравнивающие массы или удалить лишнее количество материала. В качестве параметров противовеса принимают массу вещества, расстояние между осью вращения и центром массы. Можно поставить задачу минимизации сил, создающих вибрации. Так как ограничено пространство в корпусах, не удастся разместить противовес. Для уточнения параметров дополнительного противовеса целесообразно воспользоваться экспериментальными методами.

В работе приведены исследования о выполненных уравниваниях с помощью известных методик на компьютере, выполнено аналитическое уравнивание сил инерции звеньев механизмов иглы и нитепритягивателя за счёт силы инерции вращающегося противовеса. Выявлено, что для машин различных модификаций требуется иметь противовесы с разными статическими моментами масс, корректировку которых предложено выполнять измерением внешнего радиуса цилиндрической части противовеса. На втором этапе с целью уточнения оптимальных значений статических моментов кривошипов проведены экспериментальные исследования параметров вибраций и шума опытного образца швейной машины. При этом предусмотрена возможность изменения статического момента массы противовеса в пределах от уменьшения на  $57$  г·см до увеличения до  $25$  г·см за счёт высверливания отверстия в специальной свинцовой пробке в теле кривошипа.

Оптимальным принималось значение массы кривошипа, при котором становится минимальной сумма горизонтальной и вертикальной составляющих виброскорости контролируемой точки платформы в районе игольной пластины. При проведении уравнивания не выявлено существенного влияния статического момента массы противовеса на уровень шума. На третьем этапе исследовалась возможность снижения шума за счёт улучшения углов передачи в шарнирном механизме нитепритягивателя.

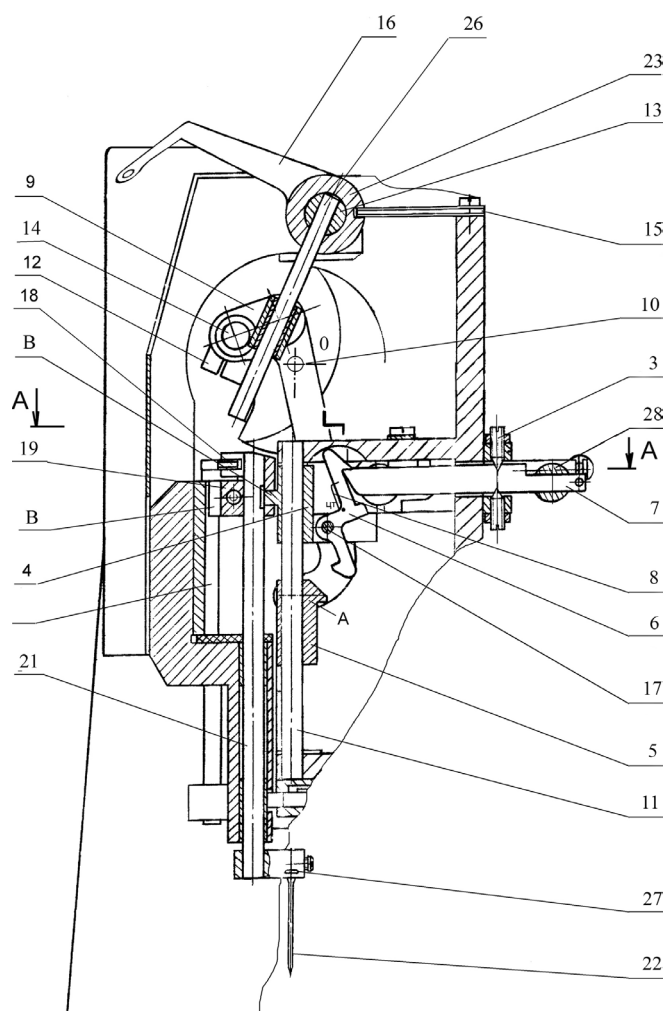
Рассмотрены пути снижения шума и локальной вибрации в швейных машинах [1, 2]. В работе ука-

зывается, что в Оршанском ПО «Промшвеймаш» разработаны машины конструктивно-унифицированного ряда 31 с горизонтальной осью челнока в блочно-модульном исполнении, предназначенные для обработки лёгких, средних и среднетяжёлых тканей. На указанных швейных машинах были определены шумовые характеристики при частоте 63-8000 Гц. Расчёты проводили на ЭВМ по программе «Шум-3». Эксперимент проводили на машинах, установленных в производственном помещении, построенном из унифицированных конструкций без достаточной звукоизоляции, с панельным вариантом стен, гипсокартонными перегородками, железобетонными многпустотными настилами перекрытий и покрытий, светопрозрачными проёмами наружных стен. Проведённые исследования по эффективности существующих средств борьбы с шумом свидетельствуют о том, что при уровне шума,

превышающем допустимые величины на 5–6 дБ, одними строительно-акустическими средствами обеспечить требуемое снижение шума невозможно.

Снижение шума можно обеспечить комплексом мероприятий, в т. ч. и снижением шумовых характеристик в самом источнике его генерации, то есть в швейных машинах. Как установлено, большинство швейных машин ряда 31 требует доработки по снижению шумовых характеристик и локальной вибрации [3].

В многоигольном вышивальном полуавтомате с использованием швейной головки, разработанной группой специалистов, конструкция устройства сцепления иглодержателей с игловодителем имеет привод от электромагнита, может создавать дополнительные вибрации [3, 4]. Конструкция устройства сцепления иглодержателей с игловодителем показана на рисунке 1.



- 1 – электромагнит, 2 – пружина, 3 – центры,  
4 – игловодитель, 5 – ползун, 6 – защелка,  
7 – поворотный рычаг, 8 – пружина, 9 – шатун,  
10 – главный вал, 11 – направляющая игловодителя,  
12 – кривошип, 13 – валик, 14 – ось,  
15 – неподвижная пластина,  
16 – нитепритягиватель, 17 – ось,  
18 – плоская направляющая, 19 – поводок,  
20 – прямоугольная направляющая, 21 – стержень,  
22 – игла, 23 – втулка,  
24 – направляющая игольницы, 25 – камень,  
26 – цилиндрическая кулиса, 27 – иглодержатель,  
28 – опора

- 1 – electromagnet, 2 – spring, 3 – centers,  
4 – needle bar, 5 – slider, 6 – latch, 7 – pivoting lever,  
8 – spring, 9 – connecting rod, 10 – main shaft,  
11 – needle bar guide, 12 – crank, 13 – small shaft,  
14 – axis, 15 – fixed plate,  
16 – thread take-up, 17 – axis, 18 – flat guide,  
19 – driver, 20 – rectangular guide, 21 – rod,  
22 – needle, 23 – bushing, 24 – needle bed guide,  
25 – sliding block, 26 – cylindrical link,  
27 – needle holder, 28 – support

Рисунок 1 – Механизм включения и отключения игл многоигольного вышивального полуавтомата

Figure 1 – Mechanism for switching on and off the needles of a multi-needle semi-automatic embroidery machine



При отсутствии напряжения в катушке электромагнита 1 поворотный рычаг 7 удерживает защелку 6. При вращении главного вала 10, посредством кривошипа 12, шатуна 9, ползун 5 осуществляет возвратно-поступательное движение по направляющей 11, а игловодитель 4 удерживается защелкой 6 в крайнем верхнем положении. При подаче напряжения на электромагнит 1, рычаг 7 поворачивается по часовой стрелке и выходит из зацепления с верхним крючком защелки 6. Ползун 5 перемещается вверх по направляющей 11, выступом *A* входит в зацепление с нижним зубом защелки 6 и игловодителя 4 и после этого осуществляет совместное движение с ползуном 5 по направляющей 11 посредством прямоугольного выступа *B*, входящего в зацепление с прямоугольным пазом *П* поводка 19 одного из стержней 21. Движение от игловодителя 4 передается иглодержателю 27. При окончании процесса вышивки, в нижнем положении иглы 22, прекращается подача напряжения на электромагнит 1. Под действием пружины 2 поворотный рычаг 7 возвращается в исходное положение. При перемещении ползуна 5 и игловодителя 4 вверх, верхний зуб защелки 6 входит в зацепление с поворотным рычагом 7, игловодитель фиксируется в верхнем положении, вместе с одним из игловодителей.

Определим суммарные проекции сил инерций  $\Sigma P_x$  и  $\Sigma P_y$  на оси  $O_x$  и  $O_y$  от угла поворота главного вала с имеющимся кривошипом [5].

Схема положения механизма от угла положения главного вала представлена на рисунке 2.

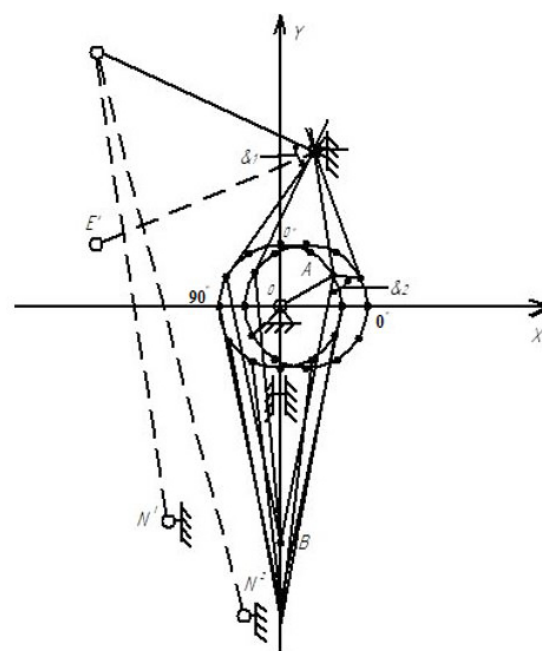


Рисунок 2 – Схема положения механизма от угла положения главного вала

Figure 2 – Diagram of the mechanism position from the angle of the main shaft position

Результаты расчетов проекций сил инерций  $\Sigma P_x$  и  $\Sigma P_y$  на оси  $O_x$  и  $O_y$  от угла поворота главного вала с имеющимся кривошипом заносим в таблицу 1.

Таблица 1 – Суммы проекций сил на оси  $O_x$  и  $O_y$

Table 1 – Sums of force projections on the  $O_x$  and  $O_y$  axes

| $\varphi$ | $\Sigma P_x, H$ | $\Sigma P_y, H$ |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 0         | 7,26            | -5,3            |
| 15        | 8,64            | 1,91            |
| 30        | 10,68           | 7,67            |
| 45        | 13,16           | 11,67           |
| 60        | 15,02           | 13,46           |
| 75        | 13,78           | 13,36           |
| 90        | 4,41            | 15,18           |
| 105       | -7,72           | 24,08           |
| 120       | -13,27          | 34,42           |
| 135       | -13,1           | 37,81           |
| 150       | -12,33          | 34,76           |
| 165       | -12,17          | 28,15           |

| $\varphi$ | $\Sigma P_x, H$ | $\Sigma P_y, H$ |
|-----------|-----------------|-----------------|
| 180       | -11,91          | 19,27           |
| 195       | -10,89          | 8,69            |
| 210       | -8,99           | -2,84           |
| 225       | -6,39           | -14,21          |
| 240       | -3,45           | -24,22          |
| 255       | -0,62           | -31,79          |
| 270       | 1,81            | -36,63          |
| 285       | 3,66            | -37,05          |
| 300       | 4,87            | -34,52          |
| 315       | 5,57            | -29,13          |
| 330       | 5,97            | -21,44          |
| 345       | 6,43            | -13,44          |



Значения экстремумов  $P_x$  и  $P_y$  различаются существенно. Экстремальные значения  $P_x$  равны 19,84 Н и 21,36 Н, и экстремальные значения  $P_y$  составляют 44,49 Н и 46,18 Н. Это указывает на невозможность полного уравнивания  $P_x$  и  $P_y$  с помощью противовеса, установленного на кривошипе.

Очевидно, что близким к оптимальному будет противовес, создающий силу инерции  $P_I$ , равную среднему арифметическому значению максимальных модулей экстремумов  $P_x$  и  $P_y$  [5, 6]. В данном случае определяем массу кривошипа:

$$P_I = (46,18 + 21,36) / 2 = 33,9 \text{ Н}$$

$$P_I = m_I \cdot a_I,$$

где  $m_I$  – масса искомого кривошипа,  $a_I$  – ускорение кривошипа

$$a_I = \omega^2 \cdot l$$

$$\omega = (\pi \cdot n) / 30 = (\pi \cdot 1100) / 30 = 115 \text{ рад/с}$$

$$m_I = P_I / a_I = P_I / (\omega^2 \cdot l_I)$$

где  $l_I$  – расстояние от центра вращения до центра масс кривошипа.

$$S_I = m_I \cdot l_I = P_I / \omega^2 = 33,9 / 115^2 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}$$

Рассчитываются силы инерции звеньев за вычетом сил инерции кривошипа. Значения сводим в таблицу 2.

Таблица 2 – Сумма проекций сил инерции на оси  $O_x$  и  $O_y$  за вычетом сил инерции кривошипа

Table 2 – Sum of projections of inertial forces on the  $O_x$  and  $O_y$  axes minus the crank inertial forces

| $\varphi$ | $\Sigma P_x, \text{ Н}$ | $\Sigma P_y, \text{ Н}$ |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 0         | 16,71                   | -5,3                    |
| 15        | 17,77                   | 4,36                    |
| 30        | 18,87                   | 12,4                    |
| 45        | 19,84                   | 18,35                   |
| 60        | 19,75                   | 21,65                   |
| 75        | 15,78                   | 22,49                   |
| 90        | 4,41                    | 24,63                   |
| 105       | -10,17                  | 33,19                   |
| 120       | -18                     | 42,61                   |
| 135       | -19,78                  | 44,49                   |
| 150       | -20,52                  | 39,49                   |
| 165       | -21,3                   | 30,6                    |

| $\varphi$ | $\Sigma P_x, \text{ Н}$ | $\Sigma P_y, \text{ Н}$ |
|-----------|-------------------------|-------------------------|
| 180       | -21,36                  | 19,27                   |
| 195       | -20,02                  | 6,24                    |
| 210       | -17,18                  | -7,57                   |
| 225       | -13,07                  | -20,89                  |
| 240       | -8,18                   | -32,41                  |
| 255       | -3,07                   | -40,92                  |
| 270       | 1,81                    | -45,63                  |
| 285       | 6,11                    | -46,18                  |
| 300       | 9,6                     | -42,71                  |
| 315       | 12,25                   | -35,81                  |
| 330       | 14,16                   | -26,46                  |
| 345       | 15,56                   | -15,82                  |

Из таблицы видно, что преобладающими являются проекции  $P_y$ . Максимальный модуль силы  $P_y$  равен 46,18 Н, он значительно больше максимального модуля силы  $P_x$ , равного 21,36 Н. Оптимизация динамических характеристик механизмов иглы и нитепритягивателя направлена на снижение шума и виброскорости в зоне игольной пластины [2, 7].

На практике гораздо чаще наблюдаются периодические (негармонические) колебания, которые можно рассматривать как сумму простых гармонических колебаний с различной частотой, амплитудой и величиной начальных фаз. Для разложения периодических колебаний на гармонические составляющие используют известные в математике ряды Фурье.

Принципы измерения параметров вибраций могут осуществляться анализом осциллограмм, полученных при исследовании механических колебаний. Вибрации в большинстве вариантов состоят из большого числа простейших синусоидальных составляющих с различными амплитудами, частотами и начальными фазами. Зависимость пиковых значений параметров колебательных процессов от соотношения фаз элементарных составляющих делает нецелесообразным использование максимальных значений параметра для оценки колебаний [8, 9].

В редких случаях более универсальной характеристикой является среднеквадратичное, эффективное или действующее значение параметра коле-

бательного процесса. Для синусоидального сигнала среднеквадратичная величина связана с амплитудой эмпирическим соотношением.

В некоторых случаях считают важнейшей характеристикой вибраций частотный спектр. Разложение сложного колебательного процесса на простейшие составляющие называют частотным анализом, а величину, указывающую на характер распределения параметров по частотному диапазону – его частотным спектром [10].

Колебательные процессы целесообразно разделить на периодические и непериодические. К периодическим относятся такие, в которых закон изменения параметра (например, координаты) во времени стабилен, к непериодическим – все прочие виды процессов.

Периодические колебания (с периодом  $T$ ) сложной формы могут быть представлены в виде суммы простых гармонических колебаний, имеющих различные амплитуды, начальные фазы и частоты, кратные основной частоте  $f = 1/T$ . Эти гармоники образуют дискретный или линейчатый спектр.

Непериодические колебания сложной формы могут быть представлены в виде суммы бесконечного числа более простых колебаний, образующих сплошной спектр.

Колебательные процессы машин имеют смешанный спектр, состоящий из непрерывной части и дискретной. При спектральном анализе вибрацию оценивают по среднеквадратичным величинам параметров (виброскорости) в октавных полосах частот. Октавой называется полоса частот, в которой верхняя (наибольшая) частота  $f_b$  в 2 раза больше нижней (наименьшей) частоты  $f_H$ .

Среднегеометрические частоты нормированы, и измерительные приборы для спектрального анализа имеют фильтры с определенными по ГОСТу среднегеометрическими частотами. Для спектрального анализа колебательного процесса используют октавные полосы со среднегеометрическими частотами (в Гц): 50, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 (ГОСТ ISO 11204-2016).

Повышенная вибрация отрицательно сказывается на здоровье работающих. Она обуславливает возникновение профессиональных заболеваний и понижение производительности труда.

Вибрация, воздействующая на человека, делится на общую и локальную. Общая вибрация передается через опорные поверхности на тело сидящего или стоящего человека. Влиянию общей вибрации подвергаются люди, обслуживающие вышивальные полуавтоматы. Систематическое воздействие общей вибрации может быть причиной вибрационной болезни. Локальная вибрация передается через руки человека. Влиянию локальной вибрации подверга-

ются люди, непосредственно контактирующие с элементами швейных машин и полуавтоматов.

Вибрации в некоторых случаях целесообразно подразделить по направлению действия: вдоль ортогональной системы координат  $X, Y, Z$ .

Гигиеническими характеристиками вибрации, определяющими ее воздействие на человека, являются среднеквадратичные значения виброскорости в м/с или ее логарифмические уровни в дБ в октавных полосах частот. Вибрация, воздействующая на человека, нормируется отдельно для каждого установленного направления в каждой октавной полосе.

Гигиенические нормы вибрации, воздействующие на человека в производственных условиях, указаны в нормативных документах.

С целью снижения величины вибрации до допустимых санитарных норм рассматривается возможность уравнивания суммарных сил инерции с применением противовеса. Возможное место установки на кривошипе.

Если построить графики зависимости от  $\varphi$  проекций сил инерции кривошипа 1 на оси  $Ox$  и  $Oy$ , то напрашивается вывод, что графики  $P_{x1}$  и  $P_{y1}$  идентичны и сдвинуты по фазе на  $90^\circ$ . Это объясняется тем, что зависимости  $P_{x1}$  и  $P_{y1}$  от  $\varphi$  описываются уравнениями:

$$P_{x1} = P_I \cdot \cos(\varphi_I + \varepsilon_I)$$

$$P_{x2} = P_I \cdot \sin(\varphi_I + \varepsilon_I)$$

$$P_I = m_I \cdot \omega^2 \cdot l_I$$

где  $P_I$  – сила инерции кривошипа,  $m_I$  – масса кривошипа.

$$l_I = OS_I = \sqrt{\alpha s^2 + \beta s^2}$$

$\alpha s, \beta s$  – координаты центра масс кривошипа в подвижной системе координат  $\alpha O\beta$ ;

$$\varepsilon_I = 2\pi = \arccos \frac{\beta s}{\alpha s}$$

$P_x$  и  $P_y$  имеют два экстремума. Экстремальные значения  $P_y$  имеют место при  $\varphi = 135^\circ$  и  $\varphi = 285^\circ$ , экстремальные значения  $P_x$  при  $\varphi = 45^\circ$  и  $\varphi = 180^\circ$ . Сдвиг по фазе экстремумов сил  $P_x$  и  $P_y$  близок к  $90^\circ$ , что указывает на возможность уравнивания суммарных сил инерции  $P_x$  и  $P_y$  противовесом, установленным на кривошипе.

$$l = 0,286 \text{ см} = 0,00286 \text{ м}$$

$$mk = (2,5 \cdot 10^{-3}) / 0,00286 = 0,949 \text{ кг}$$

После расчета, получим новую сумму проекций сил инерции. Результаты заносим в таблицу 3.

Таблица 3 – Сумма проекций сил инерции на оси  $O_x$  и  $O_y$  при изменённом кривошипе

Table 3 – Sum of projections of inertial forces on axes  $O_x$  and  $O_y$  with a modified crank

| $\varphi$ | $\Sigma P_x, H$ | $\Sigma P_y, H$ | $\varphi$ | $\Sigma P_x, H$ | $\Sigma P_y, H$ |
|-----------|-----------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|
| 0         | -19,22          | -5,3            | 180       | 9,57            | 19,27           |
| 15        | -16,93          | -4,94           | 195       | 14,68           | 15,54           |
| 30        | -12,24          | -5,56           | 210       | 13,93           | 10,39           |
| 45        | -5,57           | -7,06           | 225       | 12,34           | 4,52            |
| 60        | 1,79            | -9,46           | 240       | 9,78            | -1,3            |
| 75        | 6,48            | -12,21          | 255       | 6,23            | -6,22           |
| 90        | 4,41            | -11,3           | 270       | 1,81            | -9,7            |
| 105       | -0,87           | -1,51           | 285       | -3,19           | -11,48          |
| 120       | -0,04           | 11,5            | 300       | -8,36           | -11,6           |
| 135       | 5,63            | 19,08           | 315       | -13,16          | -10,4           |
| 150       | 10,59           | 21,53           | 330       | -16,95          | -8,5            |
| 165       | 13,4            | 21,3            | 345       | -19,14          | -6,52           |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе приведены исследования о выполнении уравновешивания с помощью известных методик на компьютере, выполнено аналитическое уравновешивание сил инерции звеньев механизмов иглы и нитепритягивателя за счёт силы инерции вращающегося противовеса. Выявлено, что для машин различных модификаций требуется иметь противовесы с разными статическими моментами масс, корректировку которых предложено выполнять после измерения внешнего радиуса цилиндрической части противовеса. На втором этапе с целью уточнения оптимальных значений статических моментов кривошипов проведены экспериментальные исследования параметров вибраций и шума опытного образца вышивального полуавтомата. Оптимальным

принималось значение массы кривошипа, при котором становится минимальной сумма горизонтальной и вертикальной составляющих виброскорости контролируемой точки платформы в районе игольной пластины. При проведении уравновешивания не выявлено существенного влияния статического момента массы противовеса на уровень шума. На третьем этапе исследовалась возможность снижения шума за счёт улучшения углов передачи в шарнирном механизме нитепритягивателя. Испытания механизма нитепритягивателя [11, 12] с оптимальными углами передач показали возможность снижения уровня шума на 2–3 дБ в зоне, расположенной в 0,15 м от фронта промстола. Экспериментальные исследования подтвердили, что уровень величин вибраций и шумов соответствует допустимым нормам.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сункуев, Б. С. Уравновешивание механизмов швейных машин и полуавтоматов / Б. С. Сункуев, А. В. Радкевич, Ю. М. Цветков // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 1995. – Вып. 1. – С. 34–37.
2. Андросов, С. П. Снижение вибрации и шума швейных машин / С. П. Андросов, В. Л. Теплоухов // *Швейная промышленность*. – 2005. – № 5. – С. 19.
3. Краснер, С. Ю. Оценка качества процессов в механизмах вышивальных полуавтоматов : монография / С. Ю. Краснер, Ю. В. Новиков. – Витебск: УО «ВГТУ», 2019. – 190 с.
4. Новиков, Ю. В. Исследование резонансных характеристик колебательных систем волоочильных установок / Ю. В. Новиков, В. Ю. Новиков // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2023. – № 7 (760). – С. 35–42. – DOI: 10.18698/0536-1044-2023-7-35-42.
5. Новиков, Ю. В. Исследование вибраций промышленных швейных машин / Ю. В. Новиков,

С. В. Горнак, В. Ю. Новиков // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2024. – № 8 (773). – С. 31–41. <https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/2258/2258.pdf>.

6. Макарова, А. Д. Исследование колебаний швейной головки / А. Д. Макарова, Ю. В. Новиков // Тезисы докладов 57-й Международной научно-технической конференции преподавателей и студентов, 18-19 апреля 2024 года. – Витебск: УО «ВГТУ», 2024. – С. 144–145.

7. Новиков, Ю. В. Разработка механизмов и устройств многоигольного вышивального полуавтомата : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы (лёгкая промышленность)» / Юрий Васильевич Новиков ; УО «ВГТУ» ; науч. рук. Б. С. Сункуев. – Витебск, 2005. – 21 с.

8. Уранбилгээ, Ч. Снижение вибрации и шума исполнительных механизмов швейных машин путем совершенствования их конструкций: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.02.13 –

«Машины, агрегаты и процессы (лёгкая промышленность)» / Чайдон Уранбилгээ. – Иваново: Иван. гос. текстил. акад., 2007. – 20 с.

9. Алексеев, С. П. Борьба с шумом и вибрацией в машиностроении. – Москва : Машиностроение, 1970. – 208 с.

10. Fang, H. Modulation effect of slotted structure on vibration response in electrical machines / H.Fang, D. LI, R. QU [et al.] // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2019. – Vol. 66. – № 4. – pp. 2998–3007. – DOI: 10.1109/TIE.2018.2847639.

11. Файзи́ев, С. Методы снижения уровня шума и вибрации в швейных машинах / С. Файзи́ев, Н. Хайдарова // *Современные инновации, системы и технологии*. – 2022. – №2(2). – pp. 0428–0439. – DOI: 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0428-0439.

12. El-Faouri, F. S. Refinement of Analytical Current Waveform for Acoustic Noise Reduction in Switched Reluctance Motor / F. S. El-Faouri, Y. Cai, A. Chiba // *IEEE Open Journal of Industry Applications*. – 2024. – Vol. 5. – pp. 325–337. – DOI: 10.1109/OJIA.2024.3434668.

## REFERENCES

1. Sunkuev BS, Radkevich AV, Tsvetkov YM. Balancing of sewing machine and semi-automatic mechanisms. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 1995;(1):34–37. (In Russ.).

2. Androsov SP, Teploukhov VL. Reduction of vibration and noise of sewing machines. *Shveytnaya promyshlennost'*. 2005;(5):19. (In Russ.).

3. Krasner SY, Novikov YV. Otsenka kachestva protsessov v mekhanizмах vyshivaynykh poluavtomatov: monografiya = Quality assessment of processes in embroidery semi-automatic mechanisms: monograph. Vitebsk: UO «VGTU»; 2019:190. (In Russ.).

4. Novikov YV, Novikov VY. Studying resonance characteristics of the drawing installation oscillatory systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*. 2023;(7(760)):35–42. – DOI: 10.18698/0536-1044-2023-7-35-42. (In Russ.).

5. Novikov YV, Gornak SV, Novikov VY. Issledovanie vibratsiy promyshlennykh shveynykh mashin = Study of the industrial sewing machine vibration. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*. 2024;8(773):31–41. <https://izvuzmash.bmstu.ru/articles/2258/2258.pdf>. (In Russ.).

6. Makarova AD, Novikov YV. Study of vibrations of the sewing head. In: Tезисы докладов 57-й Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy

konferentsii prepodavateley i studentov = Abstracts of the 57th International Scientific and Technical Conference of Faculty and Students, 18-19 April, 2024, Vitebsk. Vitebsk: UO «VGTU»; 2024:144–145. (In Russ.).

7. Novikov YV. Razrabotka mekhanizmov i ustroystv mnogoigolnogo vyshivaynogo poluavtomata: avtoreferat dis. kand. tekhn. nauk = Development of mechanisms and devices for a multi-needle embroidery semi-automatic machine: abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.02.13. Vitebsk: UO «VGTU»; 2005:21. (In Russ.).

8. Uranbilgee C. Snizhenie vibratsii i shuma ispolnitel'nykh mekhanizmov shveynykh mashin putem sovershenstvovaniya ikh konstruktsey = Reduction of vibration and noise in sewing machine actuating mechanisms through design improvements: abstract of a dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences: 05.02.13. Ivanovo: Ivan. state textile academy; 2007:20 (In Russ.).

9. Alekseev SP. Borba s shumom i vibratsiyey v mashinostroenii = Noise and vibration control in mechanical engineering. Moscow: Mashinostroenie; 1970:208. (In Russ.).

10. Fang H, Li D, Qu R, et al. Modulation effect of slotted structure on vibration response in electrical machines. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 2019;66(4):2998–3007. – DOI: 10.1109/TIE.2018.2847639

11. Fayziev S, Haydarova N. Methods of reducing the vibration and noise level in sewing machines. *Modern Innovations, Systems and Technologies*. 2022;2(2):0428–0439. – DOI: 10.47813/2782-2818-2022-2-2-0428-0439.

12. El-Faouri FS, i Cai Y, Chiba A. Refinement of Analytical Current Waveform for Acoustic Noise Reduction in Switched Reluctance Motor. *IEEE Open Journal of Industry Applications*. 2024;5:325-337. – DOI: 10.1109/OJIA.2024.3434668.

---

**Сведения об авторах**

**Новиков Юрий Васильевич**

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизации производственных процессов и производств учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: nov\_u\_vik@mail.ru*

**Тёмкин Даниил Александрович**

Заведующий лабораторией кафедры автоматизации производственных процессов и производств учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail:tsiomk@ya.ru*

---

**Information about the authors**

**Yuri Vasilievich Novikov**

Cand. Sc. in Engineering, Assoc. Prof., Associate Professor, Department of Automation of Industrial Processes and Production, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: nov\_u\_vik@mail.ru*

**Tsiomkin Daniil Aleksandrovich**

Head of the Laboratory of the Department of Automation of Production Processes and Production of the Educational Institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail:tsiomk@ya.ru*

Статья поступила в редакцию 02.06.2026.



## Автоматизация расчёта размерных цепей на основе имитационного моделирования

А. И. Самаркин<sup>1</sup>,  
С. И. Дмитриев<sup>1</sup>,  
Н. Н. Попок<sup>2</sup>,  
Р. С. Хмельницкий<sup>2</sup>,  
Е. А. Евгеньева<sup>1</sup>,  
А. М. Усик<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования «Псковский государственный  
университет», г. Псков, Российская Федерация

<sup>2</sup>Учреждение образования «Полоцкий государственный университет  
имени Евфросинии Полоцкой», г. Новополоцк, Республика Беларусь

**Аннотация.** Целью работы является снижение трудоёмкости работ при проектировании и изготовлении изделий в машиностроении путём автоматизации расчёта размерных цепей. Для достижения цели решаются задачи разработки имитационной модели, алгоритма и программы расчёта размерных цепей.

Используются аналитические методы исследования, включающие имитационное моделирование расчёта, позволяющего генерировать размерные цепи в соответствии со случайными законами распределения и учитывающее технологические и конструкторские особенности получения размеров звеньев цепи.

Рассмотрены схемы и библиотека базовых классов, отражающие основные объекты размерных цепей, а также генератор размеров, который позволяет имитировать формирование размера цепи с учетом допусков и в соответствии с ожидаемым законом распределения. Приведен интерфейс программы, включающий моделируемый размер, закон распределения размеров, основное меню, зону визуализации и результаты симуляции. Показаны примеры реализации программы по каждому окну интерфейса.

Результаты исследований могут быть использованы при моделировании расчёта размерных цепей методом Монте-Карло и позволяют оценить параметры замыкающего звена по вероятностным характеристикам, входящих в размерную цепь звеньев.

*Ключевые слова:* размерные цепи, автоматизированный расчёт размерных цепей, компьютерная модель, имитационное моделирование, симуляция.

## Automation of Dimensional Chain Calculation Based on Simulation Modeling

Alexander I. Samarkin<sup>1</sup>,  
Sergey I. Dmitriev<sup>1</sup>,  
Nikolay N. Popok<sup>2</sup>,  
Ruslan S. Khmialnitski<sup>2</sup>,  
Yevgeniya A. Evgenyeva<sup>1</sup>,  
Anton M. Usik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher  
Education "Pskov State University", Pskov, Russian Federation

<sup>2</sup>Educational institution "Euphrosyne Polotskaya State University  
of Polotsk", Novopolotsk, Republic of Belarus

**Abstract.** The aim of this work is to reduce the labor intensity of operations in the design and manufacture of products in mechanical engineering through the automation of dimensional chain calculations. To achieve this goal, the tasks of developing a simulation model, algorithm, and software for calculating dimensional chains are being addressed.

Analytical research methods are used, including simulation modeling that allows generating dimensional chains according to random distribution laws and taking into account technological and design features of obtaining chain link dimensions.

The paper examines schemes and a library of base classes that reflect the main objects of dimensional chains, as well as a dimension generator that enables simulating the formation of a chain dimension considering tolerances and in accordance with the expected distribution law. The program interface is presented, including the simulated dimension, dimension distribution law, main menu, visualization area, and simulation results. Examples of program implementation for each interface window are shown.

The research results can be used in modeling dimensional chain calculations using the Monte Carlo method and allow evaluating the parameters of the замыкающего link based on the probabilistic characteristics of the links included in the dimensional chain.

*Keywords: dimension chains, automated calculation of dimension chains, computer model, simulation modeling, simulation.*

## ВВЕДЕНИЕ

Расчет размерных цепей, несмотря на многочисленные работы в этом направлении, до настоящего времени является достаточно трудоёмкой задачей. Это связано, в первую очередь, с их многообразием как по назначению (конструкторские, технологические, измерительные), так и по типу звеньев и их расположению (линейные, угловые, плоские, пространственные).

Как следствие этого, предлагаются многочисленные методы их расчета как ручного, так и автоматизированного [1–3].

Применение автоматизированных методов расчета имеет ряд известных преимуществ, освобождающих конструкторов и технологов от рутинных вычислений, что дает возможность заниматься им задачами творческого характера.

В настоящее время предлагается достаточно большое количество САПР, в том числе в виде различных приложений по расчету размерных цепей [4–8]. Анализ известных САПР расчета размерных цепей выявил ряд их недостатков [1, 2]. В частности, большинство доступных на рынке приложений являются закрытыми, то есть не раскрывают заложенные в них алгоритмы и методики расчета. Кроме этого, эти приложения являются, как правило, платными и ориентированы на предоставление пользователю только конечного результата.

При решении научно-исследовательских задач, имеющих поисковый характер, представляется актуальным иметь собственное программное обеспечение, которое позволяло бы моделировать формирование размерных цепей и образование конечного звена методами имитационного моделирования. Следует отметить, что не случайно многие научные школы в области машиностроения работают в этом направлении и имеют свои достаточно оригинальные разработки [9–14].

Как известно, простейшим методом расчета размерных цепей является метод максимума–минимума, однако он дает лишь максимальные и минимальные значения размеров звеньев цепи, не решая проблему расчета наиболее вероятного замыкающего звена,

и дает завышенные погрешности при большом (фактически свыше 5...7) количестве звеньев цепи.

Вероятностный метод опирается на представление о размере, как о некоторой случайной величине, что позволяет применить к расчету законы теории вероятности. При этом для замыкающего звена решаются две задачи: рассчитывается его математическое ожидание (центр группировки замыкающего звена, как случайной величины) и рассчитываются его вероятные отклонения от этого центра.

Этот метод также имеет недостатки: применяемые расчетные формулы обоснованы для нормального закона распределения, в случае иных законов (равномерного, треугольника и т. д.) используются коэффициенты «приведения» к нормальному распределению, обоснованность которых является дискуссионной.

Действительно, сами законы распределения размеров являются не обязательно нормальными и, во всяком случае, обусловлены технологией получения определенного размера.

В связи с этим, целью материала является снижение трудоемкости работ при проектировании и изготовлении изделий в машиностроении путем автоматизации расчета размерных цепей. Для достижения цели решаются задачи разработки имитационной модели, алгоритма и программы расчета размерных цепей. Используются аналитические методы исследования, включающие имитационное моделирование расчета, позволяющего генерировать размерные цепи в соответствии со случайными законами распределения и учитывающее технологические и конструкторские особенности получения размеров звеньев цепи.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Отличительными особенностями предлагаемого программного обеспечения являются следующие:

1. Каждый размер рассматривается как генератор случайных значений, подчиненных одному из законов распределения. Помимо очевидных (нормального и равномерного), могут быть использованы логнормальный, асимметрично нормальный,

Вейбулла и т. п., выбор которых ограничен только возможностью их компьютерной реализации.

2. Параметры закона распределения подбираются исходя из характера задачи, например, метода получения охватываемого и охватывающего размеров, причем допускается расчет таких параметров распределения, которые обеспечивают заданный процент выхода генерируемых реализаций размера за пределы поля допуска в плюс или в минус, что имитирует возможность поступления бракованных деталей.

3. После «сборки» в размерную цепь, то есть создания массива размеров-генераторов, указанная размерная цепь может сгенерировать конкретную реализацию всех составляющих ее размеров и получить, соответственно, конкретную реализацию замыкающего звена.

4. После многократных повторений, имитирующих сборку изделия из деталей, получаем массив реализаций замыкающего звена. Указанная выборка может быть проанализирована как случайная величина обычными методами статистического анализа.

5. Определяются центр группировки, стандартное отклонение, асимметрия и эксцесс, проверяются гипотезы о законе распределения, находятся минимальные и максимальные значения, без решения сложных математических задач, связанных с рассмотрением законов распределения, которые не являются нормальными.

6. Каждая симуляция является реализацией сборки компонентов и в этом качестве позволяет оценить влияние различных факторов на точность замыкающего звена, выделить промежуточные замыкающие звенья и их характеристики, предложить, например, компоненты для селективной сборки и определить ее эффективность, оценить вероятность брака или необходимости введения регулировочных звеньев.

Компьютерная модель позволяет провести много-

миллионные симуляции, имитируя массовое производство или рассмотреть процессы формирования замыкающих звеньев как случайных величин.

На настоящем этапе предлагаемое программное обеспечение реализовано для решения прямой задачи линейных размерных цепей, то есть цепей, звеньями которых являются только линейные размеры. Ниже приводится алгоритм работы предлагаемого программного обеспечения.

В соответствии с предлагаемым методом выполняется серия симуляций размерной цепи, причем в каждой из симуляций составляющие размеры получают индивидуально изменяющиеся значения. В результате получается выборка таких показателей размерной цепи, как значения размеров в серии, действительное значение замыкающего звена и т. п., которую можно в дальнейшем анализировать статистическими методами.

Для реализации метода необходимо располагать множеством размеров, составляющих размерную цепь, которые на этапе симуляции реализуются в виде конкретных значений. Эти значения носят случайный характер, но подчиняются определенным статистическим закономерностям, например, закону нормального распределения, треугольника или асимметричного нормального распределения.

Таким образом, основными абстракциями являются: линейная размерная цепь, составляющие размеры, реализация размера на этапе симуляции.

Поскольку размерные цепи могут быть весьма большими по количеству звеньев, а для получения статистически достоверных показателей необходимо располагать выборками со значительным количеством данных, принято решение использовать для разработки язык программирования C#, который, в том числе, позволяет легко создавать развитые интерфейсы пользователя.

Проект включает библиотеку базовых классов, отражающую основные объекты размерных цепей (табл. 1).

**Таблица 1 – Библиотека базовых классов**

**Table 1 – Base class library**

| № | Термин                                                       | Класс            |
|---|--------------------------------------------------------------|------------------|
| 1 | 2                                                            | 3                |
| 1 | Закон распределения                                          | Distribution     |
| 2 | Допуск                                                       | Tolerance        |
| 3 | Размер с допуском                                            | Dimension        |
| 4 | Составляющий размер линейной размерной цепи                  | Signed Dimension |
| 5 | Реализация размера (конкретное значение размера в симуляции) | Dim Example      |

# Окончание таблицы 1

## End of Table 1

| 1 | 2                                | 3                 |
|---|----------------------------------|-------------------|
| 6 | Угловой размер                   | Angle             |
| 7 | Построитель экземпляров размеров | Dimension Builder |
| 8 | Линейная размерная цепь          | Linear Chain2     |

Следует отметить, что в таблице 1 отсутствуют такие классы, как: «Замыкающий размер линейной размерной цепи»; «Увеличивающий размер линейной размерной цепи»; «Уменьшающий размер линейной размерной цепи» поскольку последние являются традиционными размерами и отдельный класс

для них в программе не требуется. Что касается увеличивающих звеньев в программе, они задаются номиналом в «плюс», уменьшающие – в «минус».

Схема базовых классов представлена на рисунке 1.

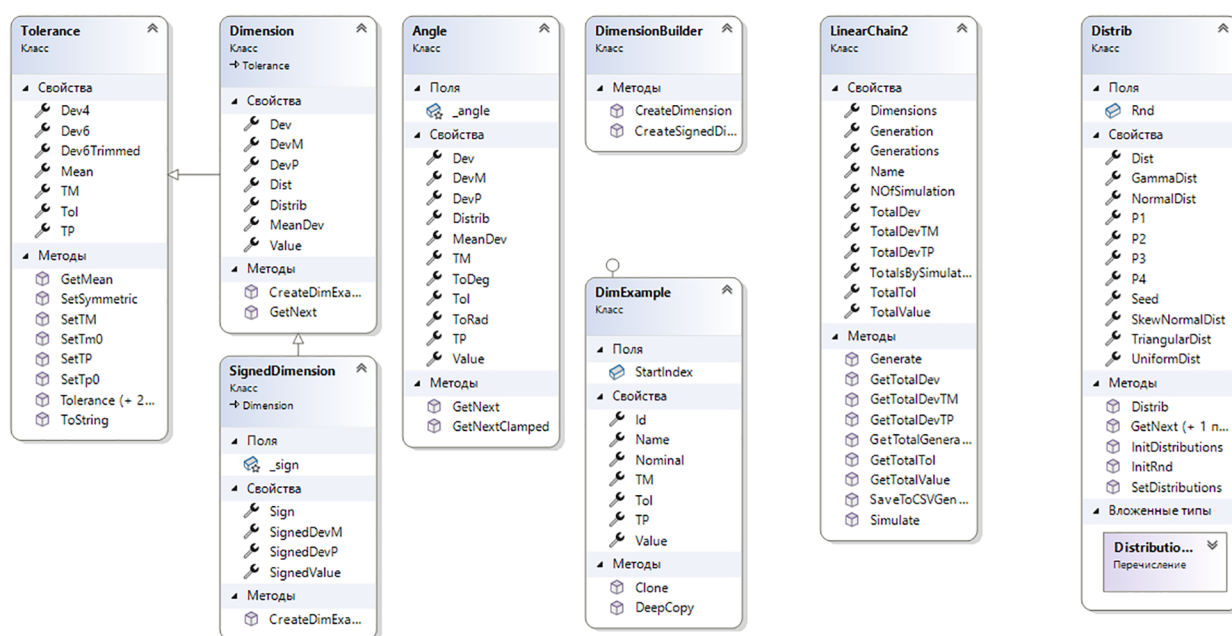


Рисунок 1 – Схема базовых классов

Figure 1 – Diagram of base classes

На первом этапе работ реализован генератор размеров, который позволяет имитировать формирование размера цепи с учетом допусков и в соответствии с ожидаемым законом распределения.

Допуск задается его верхним и нижним отклонениями, которые вместе с номинальным размером образуют специфицированные границы размеров.

Закон распределения и его параметры, которые являются индивидуальными для каждого составляющего размера, образуют генератор случайных чисел. При этом генерируемые параметры не обя-

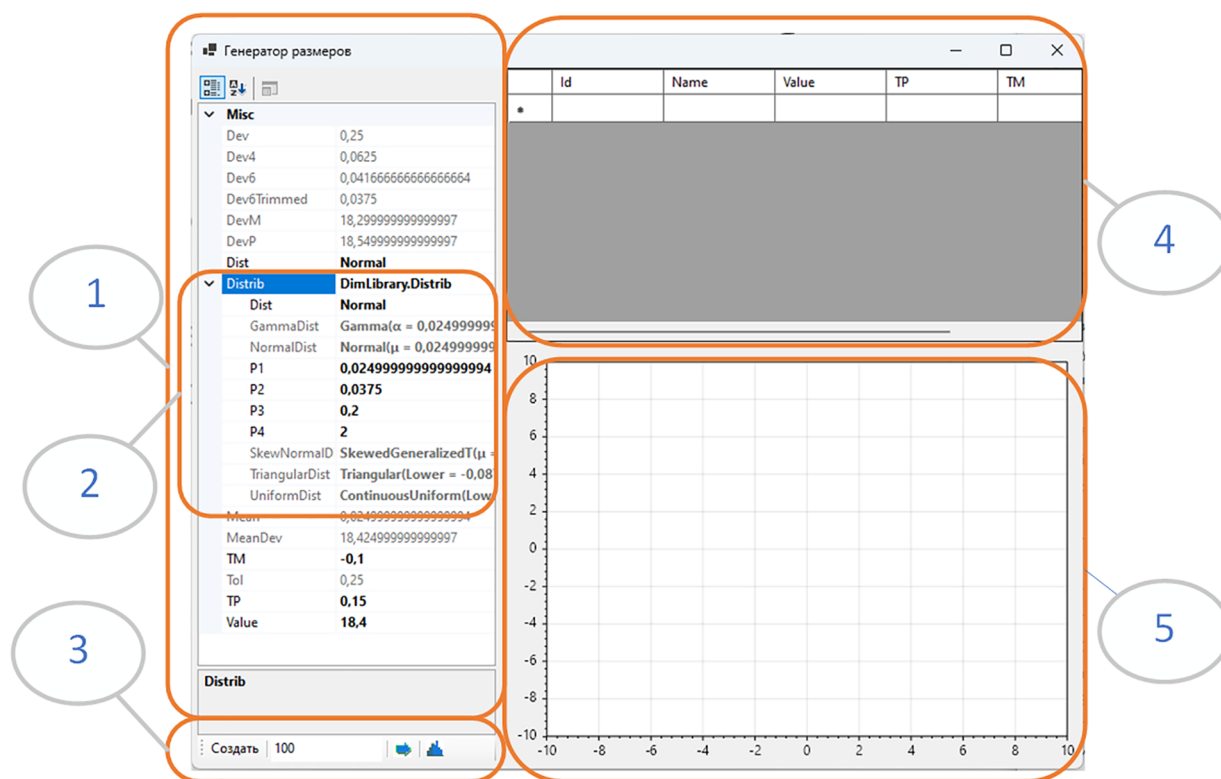
зательно соответствуют спецификации. Так, если размер подчиняется нормальному закону распределения, а отклонение соответствует, как пример, правилу 4-х сигм, то около 5 % размеров будут превышать предельные значения размера. Формально можно задать любой закон распределения и любые параметры, в том числе дающие брак.

Таким образом, каждый размер цепи «генерирует» свое значение на этапе симуляции независимо от всех остальных и в соответствии с информацией об особенностях, например, технологического про-

цесса или наличия брака.

Действительные размеры в реальных производственных условиях являются случайными величинами,

закон распределения и параметры указанного закона распределения подлежат экспериментальной оценке. На рисунке 2 показан интерфейс программы.



1 – свойства моделируемого размера, 2 – свойства закона распределения, 3 – основное меню, 4 – результаты симуляции, 5 – зона визуализации

1 – properties of the simulated size, 2 – properties of the distribution law, 3 – main menu, 4 – simulation results, 5 – visualization area

Рисунок 2 – Интерфейс программы

Figure 2 – Program interface

Основными параметрами размера являются: Value – номинал размера, TP и TM – верхнее и нижнее отклонение размера (с учетом знака), параметры закона распределения, значения которых отличаются в зависимости от выбранного закона.

Результаты симуляции (количество генерируемых размеров задается в меню) и отображаются в виде таблицы (рис. 3).

Результаты можно визуализировать в виде графика и гистограммы, а таблицу данных – экспортировать в нейтральный формат CSV (comma separated value) для статистического анализа.

На рисунке 3 показаны результаты симуляции с построением графиков в виде точечного графика

и гистограммы. В приведенной симуляции выведены значения размеров с точностью в дробной части более третьего знака, что в производственных условиях, особенно в машиностроении, избыточно и может быть исправлено форматированием.

На втором этапе с использованием базовых классов авторами разработана программа симуляции линейных размерных цепей. Интерфейс программы представлен на рисунке 4.

Для использования программы необходимо:

1. Создать список размеров и отредактировать их параметры (номинальное значение, направление, отклонения размера, закон распределения и его параметры).



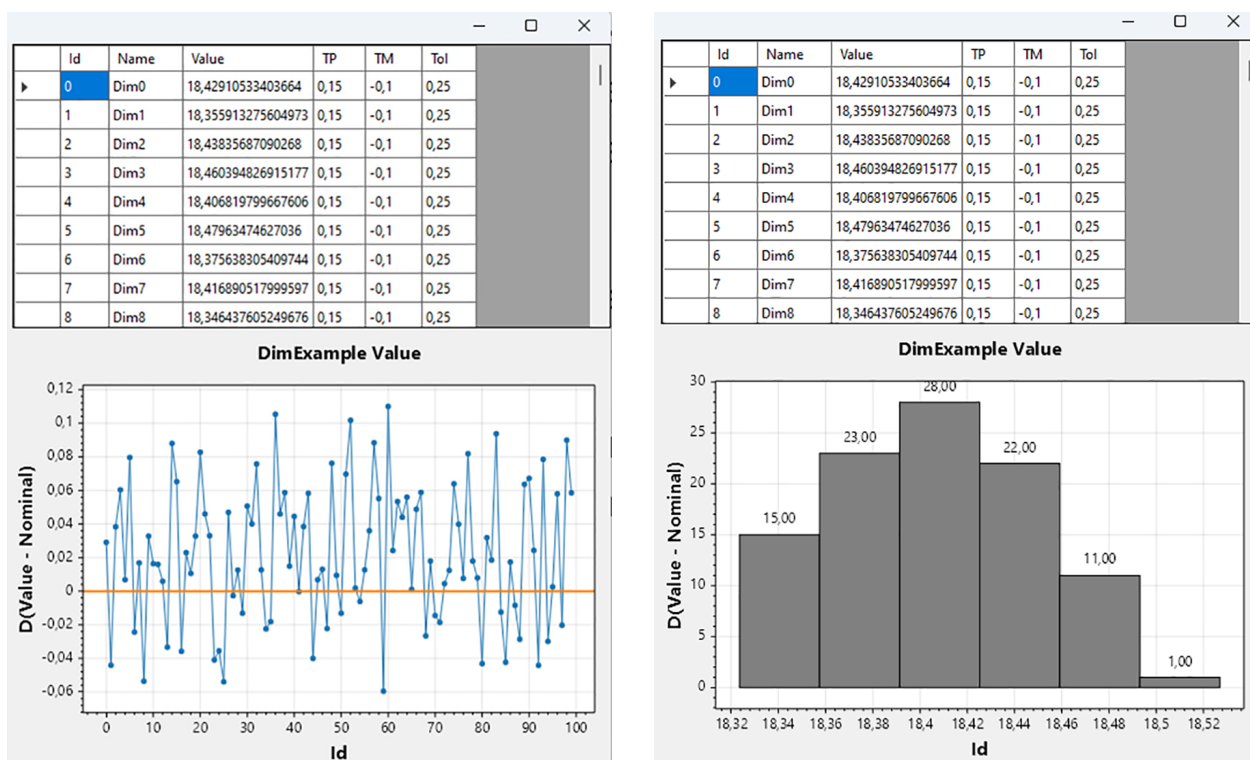
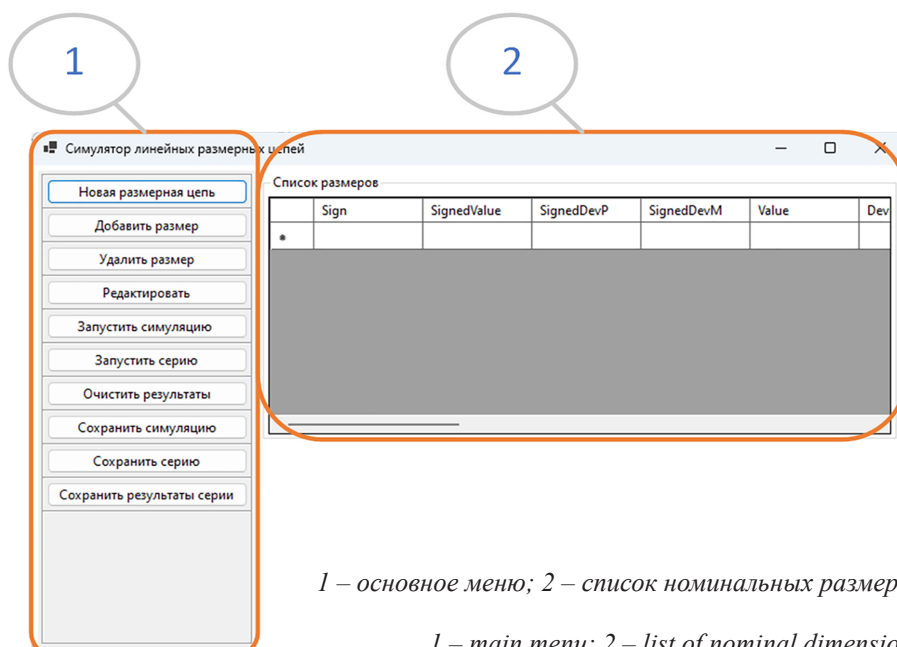


Рисунок 3 – Результаты симуляции

Figure 3 – Simulation results



1 – основное меню; 2 – список номинальных размеров

1 – main menu; 2 – list of nominal dimensions

Рисунок 4 – Интерфейс программы моделирования размерных цепей

Figure 4 – Dimension chain modeling program interface

2. Сгенерировать единственную симуляцию или серию симуляций (количество серий ограничено 500000). Каждая симуляция содержит конкретную комбинацию значений размеров размерной цепи и величину достигаемого замыкающего звена.

Серия содержит вектор значений размеров на каждой симуляции и значение размера

замыкающего звена.

Добавление нового и редактирование существующего размера происходят аналогично предыдущей программе (рис. 5). В частности, как пример, редактируемый размер подчиняется закону асимметричного нормального распределения и имеет номинал 5 мм.

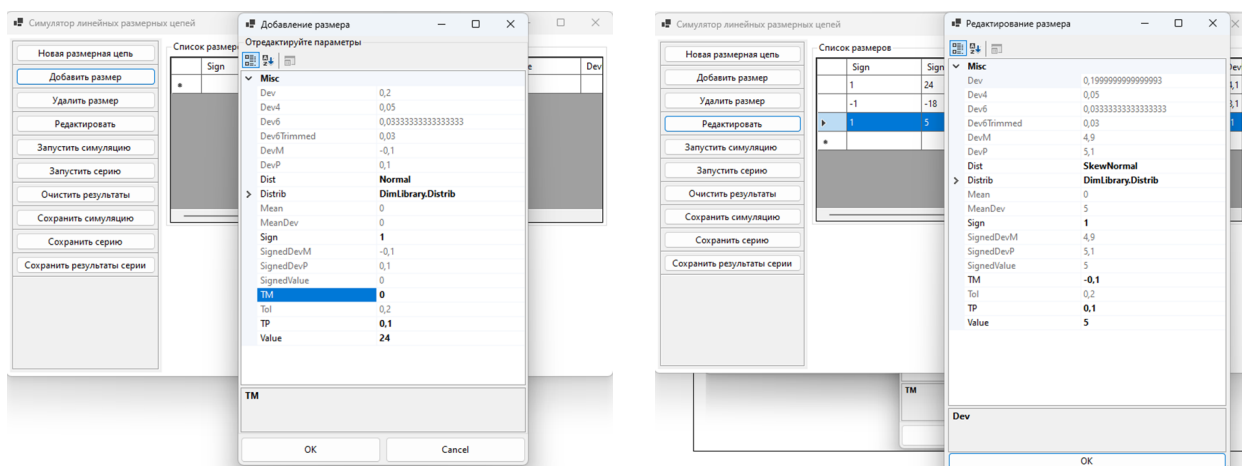


Рисунок 5 – Добавление и редактирование размера

Figure 5 – Adding and editing size

Программа позволяет создать и сохранить единственную комбинацию размеров (серию), как показано на рисунке 6. В справочных целях для

каждого размера цепи приводятся сведения о его номинальном размере и отклонениях, в дополнении к смоделированному значению размера.

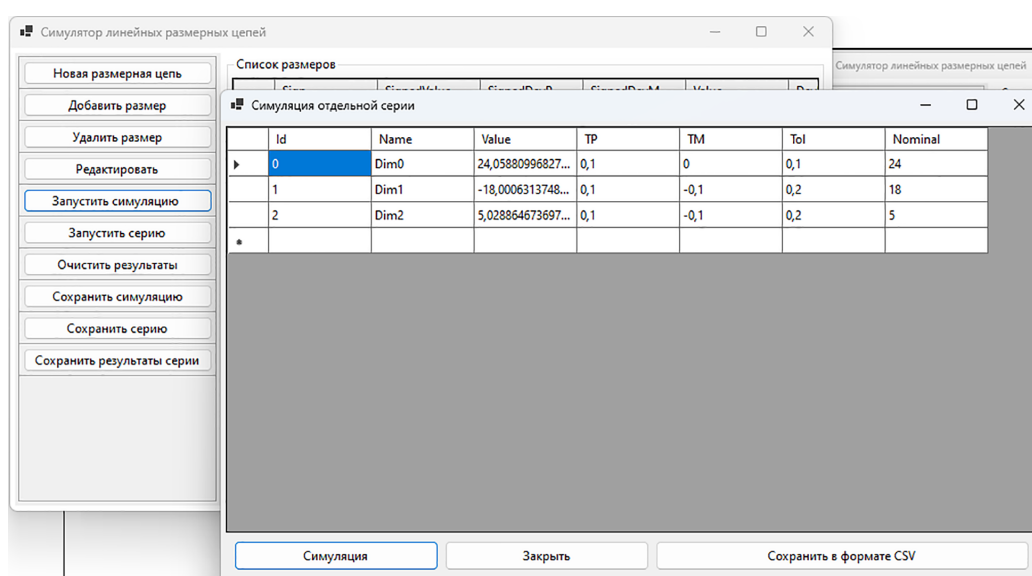


Рисунок 6 – Реализация размерной цепи с тремя размерами

Figure 6 – Implementation of a dimensional chain with three dimensions

Следует отметить, что появление в таблице (см. рис. 6) размеров с «отрицательными» значениями объясняется тем, что для упрощения некоторых расчетов условно размеры с положительным номиналом являются увеличивающими, с отрицательным уменьшающими. Расчеты предельных значений этот факт учитывают.

Кроме этого, рассчитанные допуски на размеры должны быть, как правило, «кавалитетными». В этой версии программы подбор квалитетов не реализован и планируется в новой редакции.

Схожим образом происходит серия симуляций. На рисунке 7 представлены результаты серии из 500 симуляций размерной цепи, приведенной на рисунке 6.

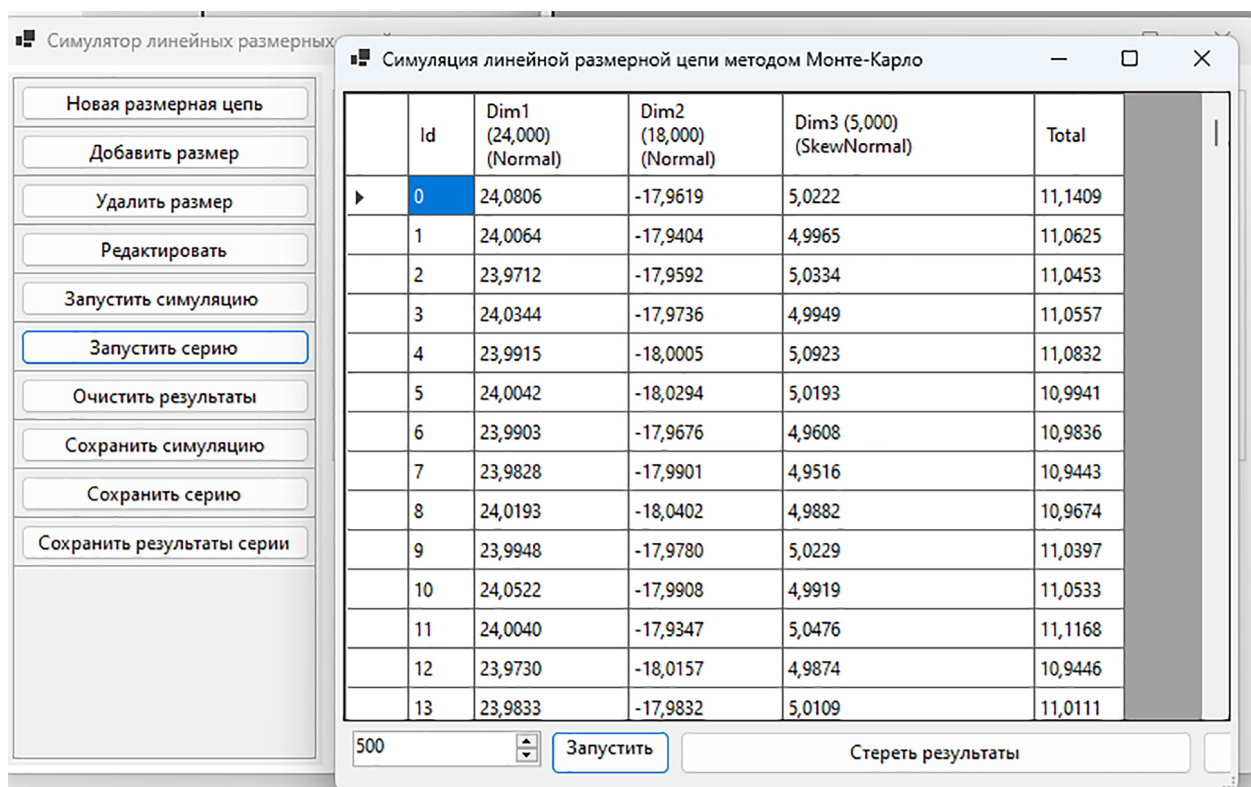


Рисунок 7 – Серия симуляций

Figure 7 – A series of simulations

На рисунке 8 приведена интерпретация результатов симуляции серии из 500 симуляций размерной цепи с построением точечного графика и гистограммы.

Полученные результаты могут быть сохранены в формате CSV для последующего анализа.

Блок-схема работы предлагаемого программного обеспечения приведена на рисунке 9.

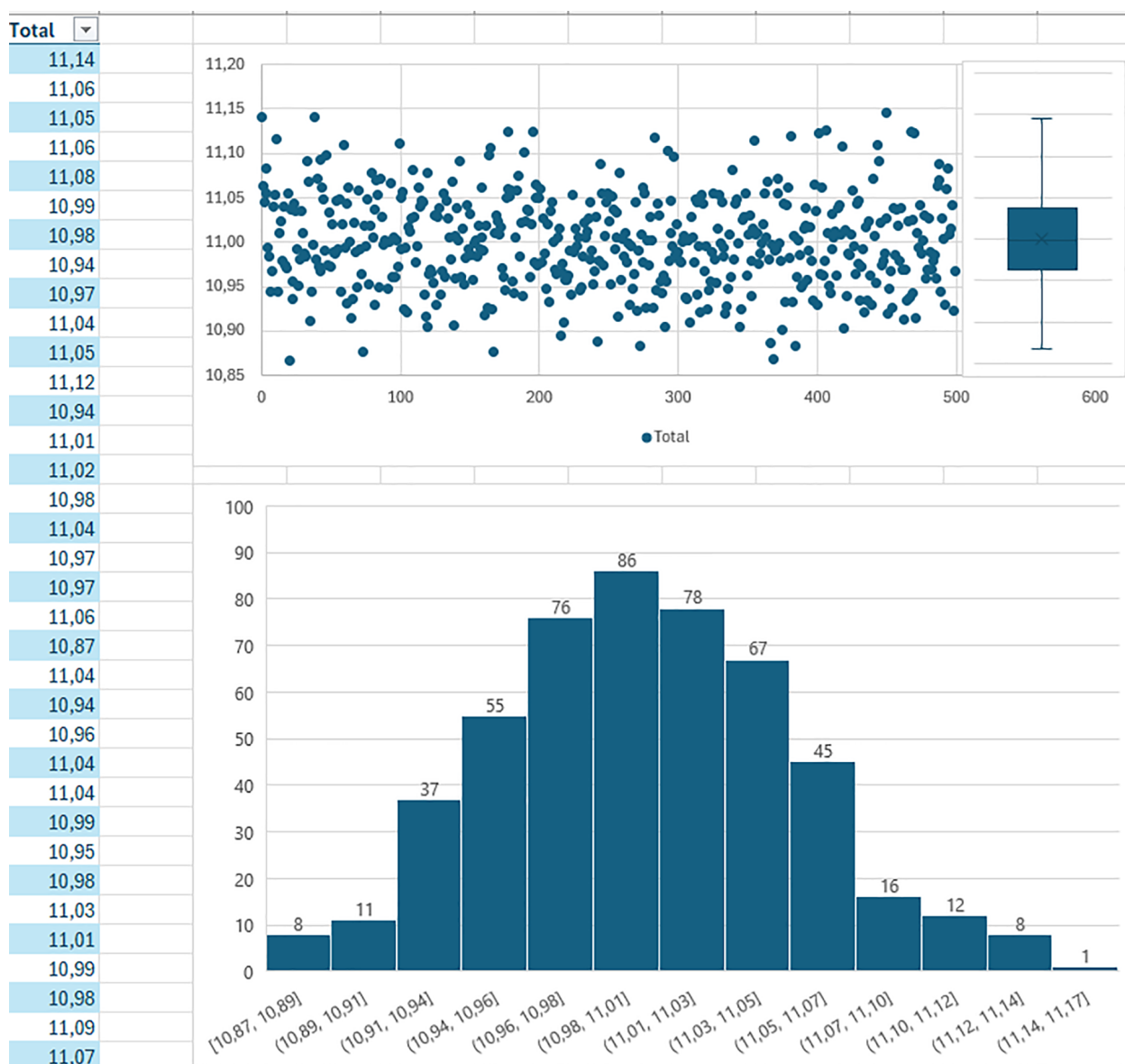


Рисунок 8 – Первичная обработка результатов

Figure 8 – Primary processing of results

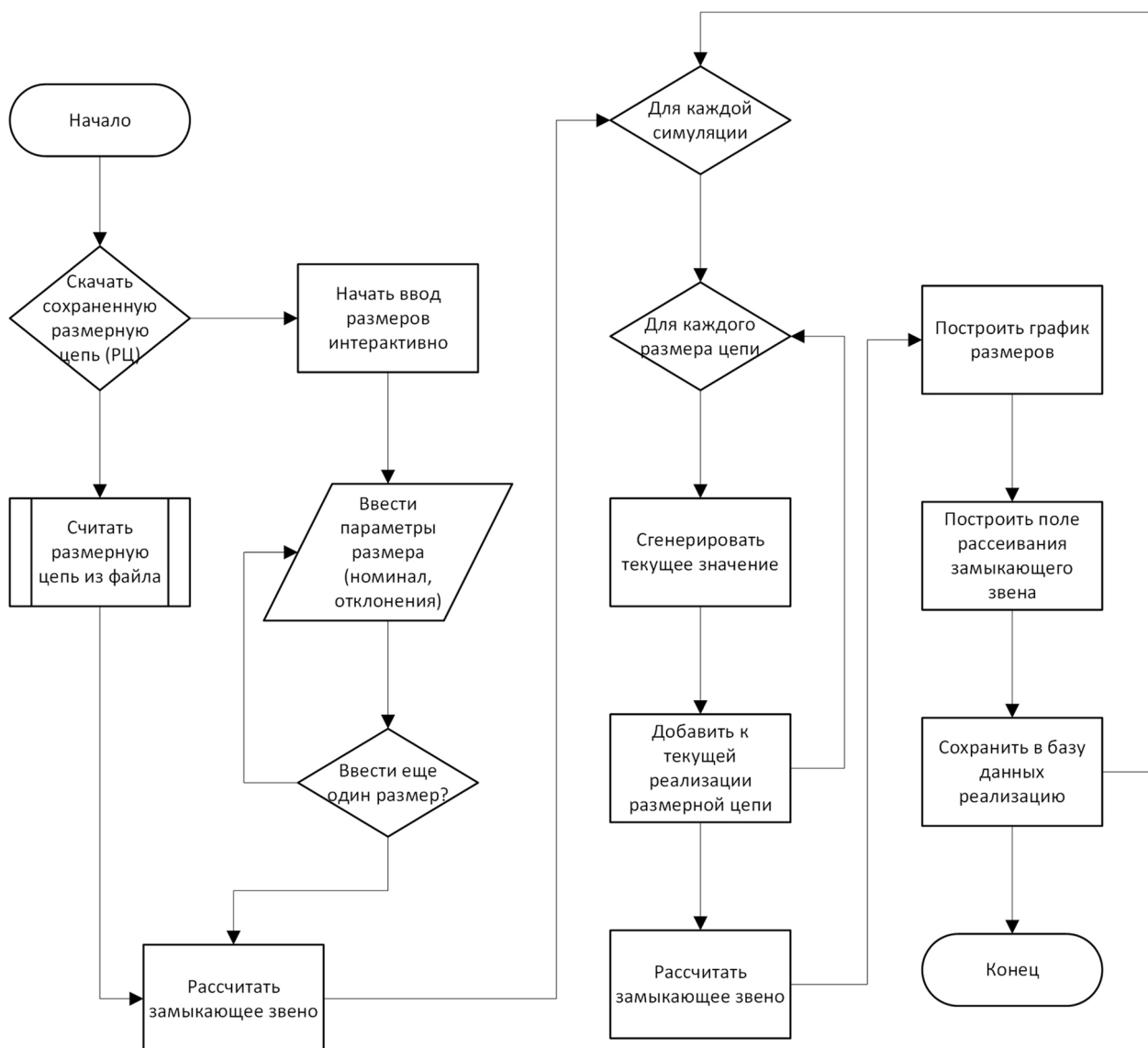


Рисунок 9 – Блок-схема предлагаемого программного обеспечения

Figure 9 – Block diagram of the proposed software

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанное программное обеспечение может быть использовано при моделировании размерных цепей методом Монте-Карло и позволяет оценить параметры замыкающего звена по вероятностным характеристикам входящих в размерную цепь звеньев.

Программу также можно применить:

- для решения обратной задачи, связанной с проверкой изделия на собираемость, исходя из действительных размеров составляющих звеньев сборочной размерной цепи;
- при определении зазора между двумя соседними деталями изделия;

– при расчете размера (позиционного размера), определяющего положение одной детали изделия относительно другой, между которыми располагается ряд других деталей изделия.

Настоящая работа описывает лишь часть, связанную с генерацией размеров конструкторской размерной цепи как случайной величины и оценки параметров замыкающего звена, как реализации суммы этих случайных величин.

Предполагается дополнить программу инструментами решения обратной задачи и реализовать анализ не только линейных, но и плоских размерных цепей.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев, С. И. Размерные цепи, как их рассчитывать? / С. И. Дмитриев, А. М. Усик, Е. А. Евгеньева, В. А. Щербаков, А. И. Самаркин // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2024. – №25(9). – С. 422–430. – DOI: 10.36652/0202-3350-2024-25-9-422-430.
2. Дмитриев, С. И. Усик, А. М., Евгеньева, Е. А. Пространственные размерные цепи – это просто или сложно? / С. И. Дмитриев, А. М. Усик, Е. А. Евгеньева // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2025. – №26(3). – С. 113–119. – DOI: 10.36652/0202-3350-2025-26-3-113-119.
3. Самаркин, А. И., Самаркина, Е. И., Дмитриев, С. И., Евгеньева, Е. А. Размерные цепи, чего не хватает при автоматизации их расчетов с применением САПР? / А. И. Самаркин, Е. И. Самаркина, С. И. Дмитриев, Е. А. Евгеньева // *Сборка в машиностроении, приборостроении*. – 2024. – №25(12). – С. 566–572. – DOI: 10.36652/0202-3350-2024-25-12-566-572.
4. Плешков, А. А. К вопросу автоматизации синтеза линейных размерных схем и расчета технологических размерных цепей / А. А. Плешков, К. П. Помпеев // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. XLVIII научная и учебно-методическая конференция Университета ИТМО, Санкт-Петербург, 29 января – 1 февраля 2019 года. – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2019. – Том. 2. – С. 130–134.
5. Демин, Ф. И. Автоматизация подготовки исходной информации при расчете точности плоскостных и пространственных размерных цепей / Ф. И. Демин, М. А. Андронов // *Проблемы и перспективы развития двигателестроения*. – Самара : СГАУ, 1999. – Вып. 3. – Ч. 2. – С. 134–141. <https://repo.ssau.ru/jspui/handle/123456789/16146>.
6. Анкин, А. В. Разработка программного обеспечения для расчета пространственной размерной цепи. / А. В. Анкин, Д. Л. Кузьминский // *Известия МГТУ «МАМИ»*. – 2011. – №2(12). – С. 106–110. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-dlya-rascheta-prostranstvennoy-razmernoy-tsepi>.
7. Lealin, S. Comparison and evaluation of classical methods of dimensional chains theory and their modern analogues / S. Lealin // *Journal of Engineering Science*. – 2023. – №30(4). – С. 20–30. – DOI: 10.52326/jes.utm.2023.30(4).02.
8. Шаломеев, М. А. Размерный анализ в SolidWorks / М. А. Шаломеев // *САПР и графика*. – 2010. – №(10). – С. 40–42. <https://sapr.ru/article/21721>.
9. Фролов, В. В. Проектный расчет размерных цепей на основе имитационного моделирования / В. В. Фролов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2019. – №37(2). – С. 76–88. – DOI: 10.24411/2079-7958-2019-13709.
10. Хилькевич, Я. М. Методы интервальных расчетов размерных цепей / Я. М. Хилькевич, С. П. Пестов, П. Г. Мазеин // *Известия Челябинского научного центра*. – 2004. – № 1 (22). – С. 107–111. [http://www.csc.ac.ru/news/2004\\_1/](http://www.csc.ac.ru/news/2004_1/).
11. Никитенко, А. В. Повышение эффективности расчетов размерных цепей на основе итерационного алгоритма. / А. В. Никитенко, Е. А. Паничев. // Тенденции формирования науки нового времени: сборник статей Международной научно-практической конференции. 27–28 декабря 2013 г.: в 4 ч. Ч.4. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2014. – С. 170–173.
12. Лелюхин, В. Е., Колесникова, О. В. Анализ и расчет размерных цепей на основе графов размерных связей / В. Е. Лелюхин, О. В. Колесникова // *Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета*. – 2015. – №25(4). – С. 29–35. <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/4-25/4/>.
13. Журавлев, Д. А. Методика пространственного размерного анализа в системе ГеПАРД / Д. А. Журавлев, А. В. Шабалин // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2015. – 8(103). – 58–65. [https://journals.istu.edu/vestnik\\_irtgu/journals/2015/08/articles/09](https://journals.istu.edu/vestnik_irtgu/journals/2015/08/articles/09).
14. Журавлев, Д. А., Гаер, М. А., Шабалин, А. В. Взаимное отклонение точек сопрягаемых поверхностей в автоматизированном размерном анализе с пространственными допустимыми отклонениями / Д. А. Журавлев, М. А. Гаер, А. В. Шабалин // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. – 2013. – 12(83). – 69–73. [https://journals.istu.edu/vestnik\\_irtgu/journals/2013/12](https://journals.istu.edu/vestnik_irtgu/journals/2013/12).

## REFERENCES

1. Dmitriev SI, Usik AM, Evgenyeva EA, Shcherbakov VA, Samarkin AI. Dimensionchains, howto calculate them? *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* = *Assembling in Mechanical Engineering, Instrument-Making*. 2024;9:422-430. – DOI: 10.36652/0202-3350-2024-25-9-422 (In Russ).
2. Dmitriev SI, Usik AM, Evgenyeva EA. Spatial dimension chains – is it simple or complicated?

*Sborka v mashinostroenii, priborostroenii = Assembling in Mechanical Engineering, Instrument-Making.* 2025;26(3):113-119. – DOI: 10.36652/0202-3350-2025-26-3-113-119(In Russ).

3. Samarkin AI, Samarkina EI, Dmitriev SI, Evgenyeva EA. Dimension chains, what is missing when automating their calculations using CAD? *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii = Assembling in Mechanical Engineering, Instrument-Making.* 2024;25(12):566-572. – DOI: 10.36652/0202-3350-2024-25-12-566-572(In Russ).

4. Pleshkov AA, Pompeev KP. On the issue of automation of the synthesis of linear dimensional schemes and the calculation of technological dimensional chains. In: *Al'manakh nauchnykh rabot molodykh uchenykh Universiteta ITMO. XLVIII nauchnaya i uchebno-metodicheskaya konferentsiya Universiteta ITMO = Almanac of Scientific Works by Young Scientists of ITMO University.* 48th Scientific and Educational-Methodological Conference of ITMO University, 29 January – 1 February, 2019, St. Petersburg. St. Petersburg: Universitet ITMO; 2019;2:130–134.

5. Demin FI, Andronov MA. Automation of the preparation of initial information when calculating the accuracy of planar and spatial dimensional chains. *Problemy i perspektivy razvitiya dvigatelestroeniya.* Samara: SGAU; 1999;3(2):134-141. <https://repo.ssau.ru/jspui/handle/123456789/16146>.

6. Ankin AV, Kuzminsky DL. Development of software for calculating a spatial dimensional chain. *Izvestiya MGTU «MAMI».* 2011;2(12):106-110. <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-programmnogo-obespecheniya-dlya-rascheta-prostranstvennoy-razmernoy-tsepi>.

7. Lealin S. Comparison and evaluation of classical methods of dimensional chains theory and their modern analogues. *Journal of Engineering Science.* 2023;30(4):20-30. – DOI: 10.52326/jes.utm.2023.30(4).02.

8. Shalomeenko MA. Dimensional Analysis in

SolidWorks. *SAPR i grafika.* 2010;(10):40-42. <https://sapr.ru/article/21721>.

9. Frolov VV. Design calculation of dimensional chains based on simulation modeling. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University.* 2019;37(2):76-88. – DOI: 10.24411/2079-7958-2019-13709.

10. Khilkevich YM, Pestov SP, Mazein PG. Methods of interval calculations of dimensional chains. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo centra = Proceedings of the Chelyabinsk Scientific Center.* 2004;1(22):107-111. [http://www.csc.ac.ru/news/2004\\_1/](http://www.csc.ac.ru/news/2004_1/).

11. Nikitenko AV, Panichev EA. Improving the efficiency of calculating dimensional chains based on an iterative algorithm. In: *Tendentsii formirovaniya nauki novogo vremeni: sbornik statey Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Trends in the Formation of Modern Science: Collection of Articles from the International Scientific and Practical Conference,* 27–28 December, 2013, Ufa. Ufa: RITs BashGU; 2014;4(4):170-173.

12. Lelyukhin VE, Kolesnikova OV. Analysis and calculation of dimensional chains based on dimensional relationship graphs. *Vestnik Inzhenernoi shkoly DVFU = FEFU: School of Engineering Bulletin.* 2015;25(4):29-35. <https://www.dvfu.ru/vestnikis/archive-editions/4-25/4/>.

13. Zhuravlev DA, Shabalin AV. Methodology of spatial dimensional analysis in the GePARD system. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2015;8(103):58-65. [https://journals.istu.edu/vestnik\\_irgtu/journals/2015/08/articles/09](https://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2015/08/articles/09).

14. Zhuravlev DA, Gaer MA, Shabalin AV. Mutual deviation of points of mating surfaces in automated dimensional analysis with spatial tolerances. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University.* 2013;12(83):69-73. [https://journals.istu.edu/vestnik\\_irgtu/journals/2013/12](https://journals.istu.edu/vestnik_irgtu/journals/2013/12).

## Сведения об авторах

### Самаркин Александр Иванович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой медицинской информатики и общественного здоровья федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Псковский государственный университет», г. Псков, Российская Федерация

E-mail: alex\_samarkin@mail.ru

## Information about the authors

### Alexander I. Samarkin

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof., Head of the Department of Medical Informatics and Public Health of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pskov State University", Pskov, Russian Federation

E-mail: alex\_samarkin@mail.ru

**Дмитриев Сергей Иванович**

Кандидат технических наук, доцент, заведующий отделением инженерных наук передовой инженерной школы гибридных технологий в станкостроении Союзного государства в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Псковский государственный университет», г. Псков, Российская Федерация

*E-mail: dmitrievsi55@gmail.com*

**Попок Николай Николаевич**

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

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

**Хмельницкий Руслан Сергеевич**

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

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

**Евгеньева Евгения Анатольевна**

Руководитель образовательного департамента передовой инженерной школы гибридных технологий в станкостроении Союзного государства в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Псковский государственный университет», г. Псков, Российская Федерация

*E-mail: zhen\_sheny@mail.ru*

**Усик Антон Максимович**

Аспирант передовой инженерной школы гибридных технологий в станкостроении Союзного государства в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Псковский государственный университет», г. Псков, Российская Федерация

*E-mail: usik.tosha@yandex.ru*

**Sergey I. Dmitriev**

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof., Head of the Department of Engineering Sciences of the Advanced Engineering School of Hybrid Technologies in Machine Tool Manufacturing of the Union State at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pskov State University", Pskov, Russian Federation

*E-mail: dmitrievsi55@gmail.com*

**Nikolay N. Popok**

D. Sc. (Engineering), Prof., Head of the Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering Production of the Educational Institution "Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk", Novopolotsk, Republic of Belarus

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

**Ruslan S. Khmialnitski**

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof., Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for Mechanical Engineering Production of the Educational Institution "Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk", Novopolotsk, Republic of Belarus

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

**Yevgeniya A. Evgenyeva**

Head of the Educational Department of the Advanced Engineering School of Hybrid Technologies in Machine Tool Manufacturing of the Union State at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pskov State University, Pskov, Russian Federation

*E-mail: zhen\_sheny@mail.ru*

**Anton M. Usik**

Postgraduate student of the Advanced Engineering School of Hybrid Technologies in Machine Tool Manufacturing of the Union State at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Pskov State University", Pskov, Russian Federation

*E-mail: usik.tosha@yandex.ru*

Статья поступила в редакцию 09.06.2026.

## Инновации в моде: современные технологии текстиля и цифровой инструментарий визуализации костюма

Н. С. Захарчук<sup>1</sup>,  
Н. С. Акиндинова<sup>1</sup>,  
О. В. Пищинская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь  
<sup>2</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Новосибирский технологический институт (филиал) РГУ им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» г. Новосибирск, Российская Федерация

**Аннотация.** В условиях Четвертой промышленной революции, сопровождающейся цифровой трансформацией креативных индустрий, происходит фундаментальная переоценка традиционных подходов к проектированию и визуализации модного продукта. В данной статье мода рассматривается как высокотехнологичная сфера, где конвергенция материального и цифрового открывает новые горизонты для дизайна, производства и коммуникации. Особое внимание уделяется высокохудожественным текстильным материалам с заданными функциональными свойствами и цифровым инструментам, которые не только революционизируют процесс создания костюма, но и трансформируют его восприятие. Цель исследования – анализ современных технологий текстиля и цифрового инструментария визуализации как ключевых факторов инновационного развития модной индустрии. Методы исследования многообразны: эмпирический (наблюдение, сравнение, эксперимент) и теоретический (анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование). В работе применяются методы изучения успешных практик внедрения инноваций, что позволяет выявить наиболее перспективные векторы развития дизайна костюма. Результатом исследования является систематизация современных технологических трендов в текстиле и визуализации, а также разработка модели их интеграции в дизайн-процесс для создания конкурентоспособного модного продукта.

*Ключевые слова:* инновации в моде, высокохудожественный текстиль, цифровая визуализация костюма, дизайн-процесс, технологии модной индустрии.

## Innovations in Fashion: Modern Textile Technologies and Digital Tools for Costume Visualization

Mikita S. Zakharchuk<sup>1</sup>,  
Natalia S. Akindinova<sup>1</sup>,  
Olga V. Pishchinskaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Educational institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus  
<sup>2</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Novosibirsk Technological Institute (Branch) of the Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art)" Novosibirsk, Russian Federation

**Abstract.** In the context of the Fourth Industrial Revolution, accompanied by the digital transformation of creative industries, a fundamental reassessment of traditional approaches to the design and visualization of fashion products is taking place. This article views fashion as a high-tech field where the convergence of material and digital opens new horizons for design, production, and communication. Particular attention is paid to smart textile materials with specified functional properties and digital tools that not only revolutionize the process of costume creation but also transform its perception. The aim of the study is to analyze modern textile technologies and digital visualization tools



as key factors in the innovative development of the fashion industry. The research methods are diverse: empirical (observation, comparison, experiment), theoretical (analysis and synthesis, induction and deduction, modeling), and comparative case analysis. The study employs methods for analyzing successful innovation implementation practices, which allows for identifying the most promising vectors for the development of costume design. The result of the research is the systematization of current technological trends in textiles and visualization, as well as the development of a model for their integration into the design process to create a competitive fashion product.

*Keywords: fashion innovation, high-art textile materials, digital fashion visualization, design process, fashion industry technologies.*

## ВВЕДЕНИЕ

Современная модная индустрия переживает этап фундаментальной трансформации, обусловленный наступлением Четвертой промышленной революции. Цифровизация креативных индустрий влечет за собой пересмотр устоявшихся парадигм в дизайн-проектировании, производстве и продвижении модного продукта. На смену традиционным подходам приходят кросс-дисциплинарные методики, основанные на симбиозе материального и цифрового, что открывает принципиально новые возможности для дизайна костюма и текстиля. В данном контексте, инновации, охватывающие как сферу создания новых текстильных материалов с заданными функциональными свойствами и эстетическими характеристиками, так и область цифрового инструментария для визуализации современного костюма, становятся ключевым драйвером развития креативных индустрий Республики Беларусь и Российской Федерации.

Высокохудожественный текстиль, характеризующийся сложными фактурами, инновационными переплетениями и уникальными визуальными эффектами, перестает быть исключительно материалом для швейных изделий массового производства, превращаясь в активный компонент дизайна, определяющий художественный уровень костюма и отражающий его концепцию. Параллельно с этим инструменты цифровой визуализации – от 3D-моделирования и симуляции тканей до технологий дополненной и виртуальной реальности – кардинально меняют процесс создания коллекций, сокращая время от концепции до готового прототипа и минимизируя ресурсные затраты.

Объектом исследования выступает технология проектирования высокохудожественного текстиля и цифровые инструменты визуализации в дизайне костюма.

Предмет исследования – процесс интеграции высокохудожественных текстильных материалов и цифрового инструментария моделирования костюма в дизайн-проектирование для создания конкурентоспособного модного продукта, отвечающего высокому уровню художественного мастерства.

Цель исследования – провести комплексный ана-

лиз современных технологий текстиля и цифрового инструментария визуализации как ключевых факторов инновационного развития модной индустрии.

Методы исследования многообразны: эмпирический (наблюдение, сравнение, эксперимент) и теоретический (анализ и синтез, индукция и дедукция, моделирование). В работе применяются методы изучения успешных практик внедрения инноваций, что позволяет выявить наиболее перспективные векторы развития производства и дизайна костюма и текстиля.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В условиях современной креативной индустрии происходит фундаментальное переосмысление роли текстиля в создании модного продукта. Из пассивного материала, выполняющего утилитарную функцию, он трансформируется в активный креативный компонент, во многом определяющий художественную ценность и концептуальную целостность костюма. На передний план процесса дизайн-проектирования выдвигается высокохудожественный текстиль, понимаемый как текстильный материал, отличающийся уникальными эстетическими характеристиками, которые достигаются за счет применения специальных технологий создания сложных структур, инновационных переплетений и оригинальных цветографических решений. Его отличительной чертой является не только утилитарная функция, но и способность выступать в качестве выразительного средства в дизайне костюма и текстиля, определяя художественный замысел, образную насыщенность и культурно-символический потенциал изделий. Данный вид текстиля создается с привлечением методов сложного цифрового производства (например, сложные жаккардовые переплетения), что обуславливает его эксклюзивный характер. Таким образом, высокохудожественный текстиль служит материальной основой для создания объектов авторского дизайна, а также промышленных изделий категории «Премиум».

Эмпирическое наблюдение и анализ коллекций таких дизайнеров, как Айрис ван Херпен (Iris van Herpen), наглядно демонстрируют, как инновационный текстиль становится центральным элементом

художественного высказывания. Тактильные и визуальные качества не просто украшают костюм, а формируют его нарратив, влияют на кинетику и восприятие в пространстве, тем самым поднимая дизайн на уровень высокого искусства (рис. 1).

Сегодня, модная индустрия характеризуется динамичным развитием, обусловленным активной интеграцией инновационных технологий в процессы проектирования, создания материалов, и презентации модного продукта. В фокусе данного исследования находятся актуальные тренды в области цифровых инструментов, применяемых дизайнерами не только с целью повышения функционального и эстетического качества продукции, но и трансформировать восприятие готовых швейных изделий.

Информационные технологии играют в этом процессе ключевую роль, открывая возможности для создания высокохудожественных материалов с заданными свойствами. Цифровые жаккардовые

станки позволяют реализовывать сложнейшие графические и фотографические изображения непосредственно в структуре ткани. Данный метод, обеспечивая эксклюзивность и малосерийность, делает высокохудожественный текстиль основой для продуктов категории «премиум», что является ключевым конкурентным преимуществом в современной индустрии моды. Важно отметить, что производство данного вида текстиля технологически доступно и успешно осваивается в Республике Беларусь и Российской Федерации. Такие предприятия, как РУПТП «Оршанский льнокомбинат» (г. Орша) обладают необходимым парком современного жаккардового оборудования, позволяющего создавать конкурентоспособные образцы высокохудожественного текстиля. Развитие данного направления соответствует задачам импортозамещения и укрепления технологического суверенитета в рамках Союзного государства.



Рисунок 1 – Инновационный текстиль в работах Айрис ван Херпен

Figure 1 – Innovative textiles in the works of Iris van Herpen

Примером высокохудожественного текстиля является научная разработка Акиндиновой Н. С., посвященная созданию инновационных льносодержащих тканей gobеленовой структуры с применением принципиально новых технологических решений. В рамках исследования разработана коллекция жаккардовых тканей, соответствующая современным трендам модной индустрии.

Разработаны тематические коллекции рисунков для одежных тканей, включающие три основных направления: архитектурные стилизации го-

родских пейзажей, флористические композиции и геометрические паттерны в сочетании с цветовыми монотипиями. Для оптимизации процесса раскроя созданы специализированные рисунки «Розана 1» (каймовый тип для пальтовых тканей) и «Розана 2» (с шахматной композицией для платьево-костюмных изделий) с раппортами 120 см и 240 см соответственно (рис. 2).

Разработана ресурсосберегающая технология производства, основанная на использовании двух однотонных основ (светлой и темной) на отдельных



навоях. Данное решение позволило исключить трудоёмкие операции привязывания и пробираания многоцветных основ, значительно сократив временные

и финансовые затраты производства. Применение 41 цветового и ткацкого эффекта обеспечило создание сложных многоцветных композиций.



а (a)



б (b)



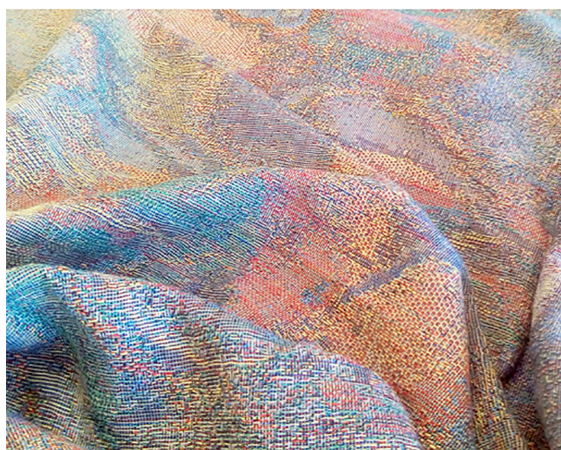
в (c)

**Рисунок 2 – Сокращённые патроны (технические рисунки):  
а – «Розана 2»; б – «Клетка 1»; в – «Китай»**

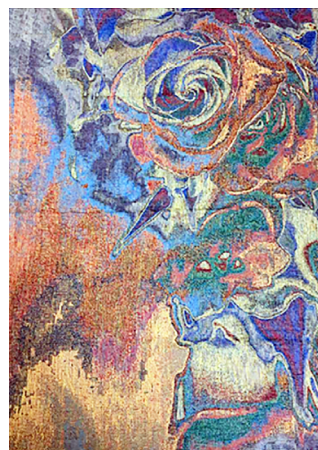
**Figure 2 – Reduced cartridges (technical drawings):  
a – "Rosana 2"; b – "Cage 1"; c – "China"**

Новая гобеленовая ткань по своим визуальнотактильным характеристикам полностью соответствует классическим и комбинированным гобеленам, что подтверждает перспективность её применения для создания многоцветных жаккардовых материалов в сфере одежды и декора. Применение

льносодержащей пряжи из котонизированного волокна обеспечивает повышенную усадку в процессе отделки, результатом которой является увеличение плотности полотна и, как следствие, усиление насыщенности и выразительности цветового решения (рис. 3).



а (a)



б (b)

**Рисунок 3 – Гобеленовая ткань нового вида (рисунок – Розана 2)  
а – фрагмент лицевой поверхности; б – внешний вид раппорта рисунка лицевой поверхности**

**Figure 3 – A new type of tapestry fabric (pattern – Rosana 2)  
a – detail of the face surface; b – appearance of the pattern repeat on the face surface**

Использование льносодержащей пряжи из котонизированного волокна обеспечивает дополнительную усадку в процессе отделки, что способствует увеличению плотности ткани и высокую цветовую насыщенность. Полученные материалы обладают рельефной многоцветной фактурой, визуально и тактильно соответствующей классическим гобеленам.

Разработка позволяет производить как односторонние, так и двухсторонние гобеленовые структуры, отличающиеся высокой конкурентоспособностью на рынке текстильной продукции. Отсутствие мировых аналогов и снижение себестоимости производства создают предпосылки для успешной коммерциализации технологии.

Таким образом, высокохудожественный текстиль утвердился в качестве ключевого элемента современного дизайна, трансформируясь из утилитарного материала в полноценное средство художественного выражения.

Параллельно с эволюцией текстиля совершенствуется и инструментарий визуализации, позво-

ляющий транслировать дизайнерские концепции в формате реалистичных цифровых моделей и иммерсивных виртуальных пространств.

Центральное место в современном дизайн-проектировании занимает трехмерное компьютерное моделирование, которое позволяет создавать точные виртуальные прототипы одежды и симулировать поведение материалов в условиях, приближенных к реальным. Использование специализированного программного обеспечения, такого как «CLO3D» и «Style3D», минимизирует ошибки на этапе прототипирования и существенно ускоряет разработку авторских и промышленных коллекций.

«CLO3D» (производства CLO Virtual Fashion Inc.) представляет собой комплексное решение для создания детализированных 3D-моделей одежды. Платформа отличается высоким уровнем реалистичности симуляции тканей, развитыми интерактивными инструментами редактирования и поддержкой технологий виртуальной реальности (VR). В качестве ограничений можно отметить высокую стоимость лицензии и ограниченную мобильность (рис. 4).

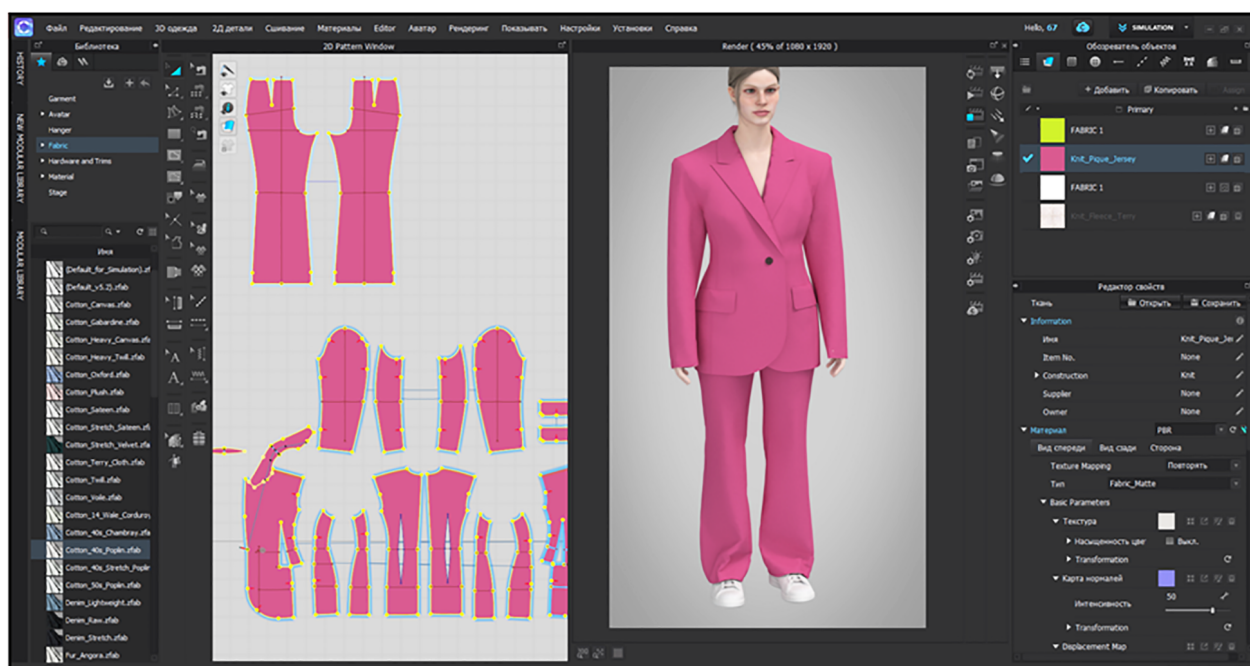


Рисунок 4 – Пример работы в программном продукте «CLO3D»

Figure 4 – Example of work in the CLO3D software product

«Style3D», будучи разработкой китайской компании, предлагает интуитивно понятный интерфейс и облачные решения, что облегчает коллаборацию. Платформа предоставляет инструменты для анимации и обширные образовательные ресурсы,

делая ее доступной для пользователей с минимальным опытом, однако она может уступать CLO3D в точности воспроизведения сложных текстурных эффектов текстильных материалов (рис. 5).



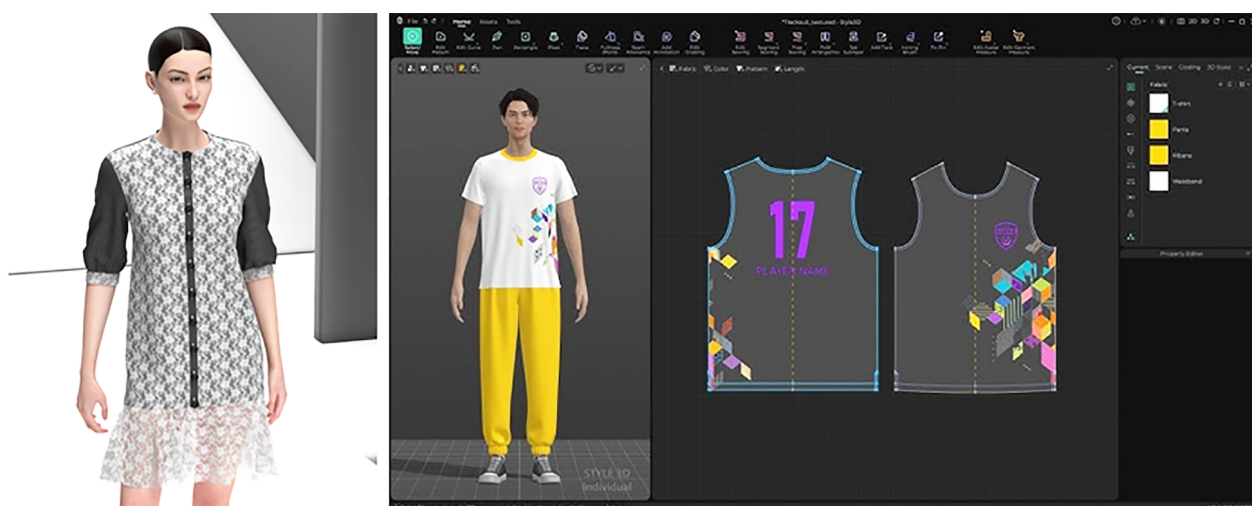


Рисунок 5 – Пример работы в программном продукте «Style3D»

Figure 5 – Example of work in the software product "Style3D"

Важным аспектом является фотореалистичное представление одежды, которое позволяет дизайнерам презентовать концепции клиентам и инвесторам без необходимости изготовления физических образцов, что сокращает затраты и сроки.

Несмотря на значительный прогресс в данной сфере, внедрение технологий цифровой визуализации в модную индустрию сопряжено с рядом нерешенных проблем (рис. 6).

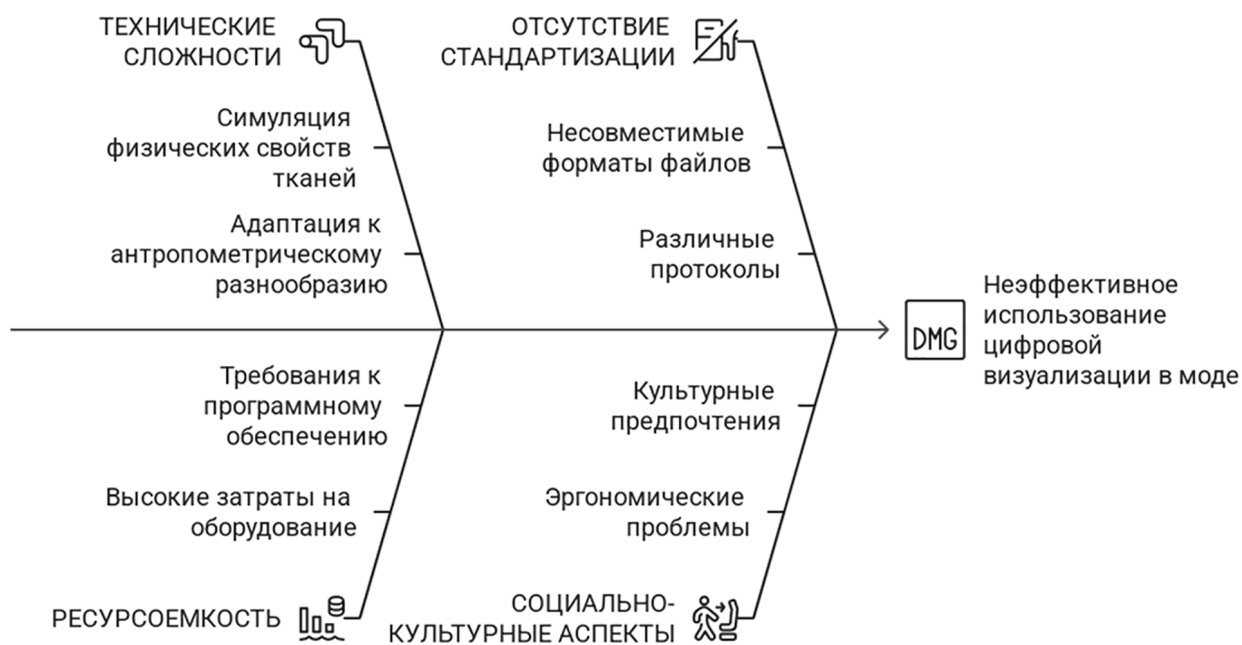


Рисунок 6 – Современная проблематика внедрения 3D-моделирования костюма в сферы модной индустрии

Figure 6 – Modern issues of introducing 3D costume modeling into the fashion industry

1. Сложность симуляции физических свойств тканей. Современные алгоритмы демонстрируют высокую точность в имитации базовых параметров материалов (поверхностная плотность, фактурность), однако воспроизведение сложных эффектов взаимодействия ткани с телом (драпируемость, изменение плотности при динамических нагрузках) остается нетривиальной задачей. Особую сложность представляет моделирование костюма из материалов, имеющих в своем сырьевом составе эластан, широко распространенный в современной одежде.

2. Проблема адаптации под антропометрическое разнообразие. Существующие системы зачастую не способны адекватно адаптировать виртуальную посадку одежды под широкий спектр типов телосложения. Даже незначительные отклонения в пропорциях виртуального аватара от реальных антропометрических данных приводят к существенным погрешностям в визуализации.

3. Высокая ресурсоемкость. Достижение фотореалистичности и высокая скорость рендеринга предъявляют значительные требования к вычислительным мощностям (GPU, CPU), что ограничивает доступность технологий для широкого круга пользователей, особенно в мобильном сегменте.

4. Отсутствие стандартизации. Разрозненность методик измерения и спецификаций тканей затрудняет создание унифицированных баз данных и совместимость между различными программными платформами. Существует потребность в разработке единых стандартов представления метрик и аннотирования структур материалов.

5. Социально-культурные аспекты и эргономика. При создании виртуальных манекенов необходимо учитывать культурные нормы восприятия тела, избегая как излишней идеализации, так и нереалистичных изображений. Кроме того, ключевым требованием со стороны пользователей остается высокая скорость отклика системы, а задержки при интерактивной примерке негативно влияют на потребительский опыт.

Таким образом, несмотря на впечатляющие достижения, дальнейшее развитие цифровой визуализации в моде требует преодоления ряда технологических и методологических вызовов. Наиболее актуальными задачами являются совершенствование алгоритмов симуляции тканей, разработка адаптивных аватаров, оптимизация вычислительных процессов и формирование единых отраслевых стандартов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет констатировать, что современная модная индустрия находится на этапе фундаментальной трансформации. Высокохудожественный текстиль, обладающий уникальными эстетическими характеристиками и функциональными свойствами, утвердился в качестве активного компонента дизайна, определяющего художественную ценность и концептуальную целостность костюма. Параллельно инструменты цифровой визуализации, такие как 3D-моделирование и симуляция в программных комплексах «Clo3D» и «Style3D», революционизируют дизайн-процесс, сокращая временные и ресурсные затраты на этапе от концепции до прототипирования.

Результаты исследования подтверждают, что симбиоз инновационного текстиля и цифрового инструментария создает синергетический эффект, открывающий новые возможности для создания конкурентоспособного модного продукта. Развитие производства высокохудожественного текстиля на современных жаккардовых станках, как демонстрирует опыт РУПТП «Оршанский льнокомбинат», соответствует задачам технологического суверенитета и импортозамещения в рамках Союзного государства Беларуси и России.

В то же время, идентифицирован ряд технологических вызовов, требующих решения для дальнейшего прогресса в области цифровой визуализации костюма. Ключевыми проблемами остаются сложность точной симуляции физических свойств эластичных материалов, ограничения в адаптации виртуальной посадки под антропометрическое разнообразие, высокая ресурсоемкость процессов рендеринга, отсутствие единых отраслевых стандартов и необходимость учета социокультурных аспектов при создании виртуальных аватаров.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке усовершенствованных алгоритмов имитации тканей, создании адаптивных систем виртуальной примерки, оптимизации вычислительных процессов и формировании единых стандартов цифрового представления текстильных материалов. Преодоление этих вызовов будет способствовать укреплению позиций креативных индустрий Республики Беларусь и Российской Федерации на глобальной арене fashion-технологий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акиндинова, Н. С. Проектирование структуры многофактурной льносодержащей ткани / Н. С. Акиндинова // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2025. – № 1(51). – С. 38–53. – DOI: 10.24412/2079-7958-2025-1-38-53.
2. Акиндинова, Н. С. Льносодержащие жаккардовые ткани новых гобеленовых структур / Н. С. Акиндинова, Ж. Е. Тихонова // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2021. – № 1(40). – С. 11–21. – DOI: 10.24412/2079-7958-2021-1-11-21.
3. Довыденкова, В. П. Предпосылки разработки устройства для оцифровки тела человека / В. П. Довыденкова, Д. А. Полозов // Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых, Казань, 15–19 мая 2023 года. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2023. – С. 123–125.
4. Захарчук, Н. С. Исследование роли культурного кода в брендинге льносодержащего модного продукта / Н. С. Захарчук, Н. С. Акиндинова, Р. Ф. Салахов // *Материалы и технологии*. – 2025. – № 1(15). – С. 79–89. – DOI: 10.24412/2617-149X-2025-1-79-89.
5. Захарчук, Н. С. Роль визуального контента в имиджевой презентации модного продукта / Н. С. Захарчук, П. А. Купреенко // *Молодые ученые – развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК)*. – 2025. – № 1. – С. 646–648.
6. Казарновская, Г. В. Технология получения двухсторонних тканей на базе структуры трехуточного гобелена / Г. В. Казарновская, Ю. Н. Пархимович // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2024. – № 3(49). – С. 39–50. – DOI: 10.24412/2079-7958-2024-3-39-50.
7. Пищинская, О. В. Мотив Сибири как источник творчества в дизайне одежды [Электронный ресурс] / О. В. Пищинская // *Оригинальные исследования*. – 2025. – Т. 15, № 7. – С. 46–49. – URL: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2025-oris-7-2025/a232214>. (дата доступа: 31.05.2026). – Текст : электронный.
8. Суровцева, К. С. Мотивы культурного наследия Витебского региона в коллекции сувенирной продукции / К. С. Суровцева, Н. Н. Самутина // Инновации и технологии к развитию теории современной моды «Мода (Материалы. Одежда. Дизайн. Аксессуары)» : сборник материалов V Международной научно-практической конференции, посвященной профессору Фёдору Максимовичу Пармону и 95-летию «РГУ им. А.Н. Косыгина», Москва, 08–09 апреля 2025 года. – Москва : Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 169–172.
9. Тархаева, А. С. Разработка базы данных внешних форм и конструктивно-декоративных решений горловин и воротников женских блузок / А. С. Тархаева, О. В. Максимчук, О. В. Пищинская // *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 (Технологии. Дизайн. Искусство), 2025. – С. 93–98.
10. 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, November 29, 2023. – Vitebsk : Vitebsk State Technological University, 2024. – P. 9–12.
11. Pischinskaya, O. V. Application of 3D-visualization for targeted computer-aided garment design / O. V. Pischinskaya, A. A. Mozzherina, L. P. Evseeva // *Фундаментальные и прикладные научные исследования в области инклюзивного дизайна и технологий: опыт, практика и перспективы : сборник научных трудов IX Международной научно-практической конференции*, Москва, 25–27 марта 2023 года. Том. 2. – Москва : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2023. – С. 64–66.
12. Polyakova, E. Psychology of perception of lookbook design as advertising products for light industry / E. Polyakova, A. Popova // *Education and science in the 21st century : articles of the VIII International Scientific and Practical Conference*, Vitebsk, November 29, 2023. – Vitebsk : Vitebsk State Technological University, 2024. – P. 34–37.

## REFERENCES

1. Popova AV, The use of linen fabric in the del. Akindinova NS. Projection of the structure of multifactorial flax-containing fabric. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*



= *Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 2025;1(51):38–53. DOI: 10.24412/2079-7958-2025-1-38-53. (In Russ.).

2. Akindinova NS, Tikhonova ZhE. Flax-containing jacquard fabrics of new tapestry structures. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = *Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 2021;1(40):11–21. – DOI: 10.24412/2079-7958-2021-1-11-21. (In Russ.).

3. Dovydenkova VP, Polozov DA. Prerequisites for the development of a human body digitization device. In: *Novye tekhnologii i materialy legkoy promyshlennosti : materialy XIX Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s elementami nauchnoy shkoly dlya studentov i molodykh uchenykh* = *New Technologies and Materials of Light Industry: Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference with Elements of a Scientific School for Students and Young Scientists*, May 15–19, 2023, Kazan. Kazan: Kazan National Research Technological University; 2023:123–125. (In Russ.).

4. Zakharchuk NS, Akindinova NS, Salakhov RF. Research of the role of cultural code in branding a flax-containing fashion product. *Materialy i tekhnologii* = *Materials and Technologies*. 2025;1(15):79–89. – DOI: 10.24412/2617-149X-2025-1-79-89. (In Russ.).

5. Zakharchuk NS, Kupreenko PA. The role of visual content in the image presentation of a fashion product. *Molodye uchenye – razvitiyu Natsional'noi tekhnologicheskoi initsiativy (POISK)* = *Young Scientists for the Development of the National Technology Initiative (SEARCH)*. 2025;1:646–648. (In Russ.).

6. Kazarnovskaya GV, Parkhimovich YN. Technology for producing double-sided fabrics based on a three-weft tapestry structure. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* = *Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 2024;3(49):39–50. – DOI: 10.24412/2079-7958-2024-3-39-50. (In Russ.).

7. Pishchinskaya OV. The motif of Siberia as a source of creativity in clothing design. *Original'nye issledovaniya* = *Original Research*. 2025;15(7):46–49. Available from: <https://ores.su/ru/journals/oris-jrn/2025-oris-7-2025/a232214>. [Accessed 31 May 2026]. (In Russ.).

8. Surovtseva KS, Samutina NN. Motifs of the cultural heritage of the Vitebsk region in a collection of souvenir products. In: *Innovatsii i tekhnologii k razvitiyu teorii sovremennoy mody "Moda (Materialy. Odezhda. Dizayn. Akssessuary)" : sbornik materialov V Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy professoru Fedoru*

Maksimovichu Parmonu i 95-letiyu "RGU im. A.N. Kosygina" = *Innovations and Technologies for the Development of Modern Fashion Theory "Fashion (Materials. Clothing. Design. Accessories)"*: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference dedicated to Professor Fedor Maksimovich Parmon and the 95th anniversary of "Kosygin RSU", April 08–09, 2025, Moscow. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art); 2025:169–172. (In Russ.).

9. Tarkhaeva AS, Maksimchuk OV, Pishchinskaya OV. Development of a database of external forms and structural-decorative solutions for necklines and collars of women's blouses. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologii: opyt, praktika i perspektivy : sbornik nauchnykh trudov XI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* = *Fundamental and Applied Scientific Research in the Field of Inclusive Design and Technologies: Experience, Practice and Prospects: Collection of Scientific Papers of the XI International Scientific and Practical Conference*, March 25–27, 2025, Moscow. Moscow: Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art); 2025:93–98. (In Russ.).

10. 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.

11. Pishchinskaya OV, Mozzherina AA, Evseeva LP. Application of 3D-vizualization for targeted computer-aided garment design. In: *Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya v oblasti inklyuzivnogo dizayna i tekhnologii: opyt, praktika i perspektivy : sbornik nauchnykh trudov IX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* = *Fundamental and Applied Scientific Research in the Field of Inclusive Design and Technologies: Experience, Practice and Prospects: Collection of Scientific Papers of the IX International Scientific and Practical Conference*, March 25–27, 2023, Moscow. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Russian State University named after A.N. Kosygin (Technologies. Design. Art)"; 2023;2:64–66.

12. Polyakova E, Popova A. Psychology of perception of lookbook design as advertising products for light industry. 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; 2024:34–37.

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

Аспирант, старший преподаватель кафедры дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: melopaque@gmail.com*

**Акиндинова Наталья Станиславовна**

Кандидат технических наук, декан факультета дизайна учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: akindinovanatasha@mail.ru*

**Пищинская Ольга Владимировна**

Кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научной работе и информатизации, заведующий кафедрой «Дизайн» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Новосибирский технологический институт (филиал) РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», г. Новосибирск, Российская Федерация

*E-mail: pischinskaya@mail.ru*

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

Postgraduate student, senior lecturer of the Department of Design and Fashion, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: melopaque@gmail.com*

**Natalia S. Akindinova**

Cand. Sc. (Engineering), Dean of the Faculty of Design, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: akindinovanatasha@mail.ru*

**Olga V. Pishchinskaya**

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof., deputy director for research and information technology, head of the Design Department, Novosibirsk Technological Institute (branch) of A.N. Kosygin Russian State University (Technology. Design. Art), Novosibirsk, Russian Federation

*E-mail: pischinskaya@mail.ru*

Статья поступила в редакцию 02.03.2026.

## Интеграция элементов культурного наследия в проектную практику графического дизайна

Н. А. Абрамович,  
Чжан Шу

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

**Аннотация.** Исследование рассматривает социальную и этическую роль дизайнера как медиатора между традицией и современностью. Предлагаемые стратегии нацелены на создание устойчивой модели дизайн-практики, в которой инновации соединяются с культурной памятью, а наследие обретает новую жизнь в актуальном визуальном языке. Осмысленная интеграция культурного наследия требует от дизайнера не заимствования формы, а понимания внутренней логики, контекста и ценности культурного явления. Такой подход позволяет генерировать не просто оригинальные, но и содержательно насыщенные, эмоциональные проекты, которые способны вести диалог с аудиторией на метафорическом и смысловом уровнях. На примере анализа современных практик выявлены успешные стратегии интеграции культурного наследия в брендинг, упаковку, цифровые медиа и другие области графического дизайна, а также типичные ошибки, ведущие к утрате культурного кода или возникновению китча.

*Ключевые слова:* культурные коды, аутентичность, графический дизайн, визуальная коммуникация, интеграция, инновации, технологии, производство.

## Integration of Cultural Heritage Elements into Graphic Design Practice

Natalia A. Abramovich,  
Zhang Shu

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

**Abstract.** This study examines the social and ethical role of the designer as a mediator between tradition and modernity. The proposed strategies aim to create a sustainable model of design practice in which innovation is combined with cultural memory, and heritage is given new life through a contemporary visual language. Meaningful integration of cultural heritage requires the designer not to borrow form, but to understand the internal logic, context, and value of a cultural phenomenon. This approach enables the generation of not only original but also meaningfully rich, emotionally charged projects capable of engaging with the audience on a metaphorical and semantic level. An analysis of contemporary practices reveals successful strategies for integrating cultural heritage into branding, packaging, digital media, and other areas of graphic design, as well as common mistakes that lead to the loss of cultural identity or the emergence of kitsch.

*Keywords:* cultural codes, authenticity, graphic design, visual communication, integration, innovation, technology, production.

### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы обусловлена направленностью графического дизайна в современных реалиях к поиску новых форм визуальных коммуникаций и культурной идентичности. В условиях глобализации особое значение приобретает обращение к нематериальному культурному наследию – традициям, симво-

лике, фольклору, ритуалам, которые сохраняют идентичность и формируют культурный код. Интеграция элементов культурного наследия в графический дизайн позволяет не только обогатить визуальный язык, но и укрепить связь между прошлым и настоящим, создавая устойчивые культурные практики в современном дизайне. Традиции системы символов,

логики цвета, композиционного мышления и духовного содержания становятся неиссякаемым источником вдохновения для инноваций в графическом дизайне. Исследование продиктовано необходимостью ответить на ключевые вызовы современного дизайна:

- как создать визуальную коммуникацию, которая, будучи глобально понятной, сохраняет культурную аутентичность и глубину;
- как преодолеть декоративный, поверхностный подход к традиционным мотивам и перейти к осмысленному диалогу с культурными кодами.

Объектом исследования является процесс взаимодействия элементов нематериального культурного наследия с современной практикой графического дизайна как феномен культурной коммуникации и творческой трансформации. Предмет исследования – закономерности, принципы и методы трансформации семантических, символических и стилистических характеристик элементов нематериального культурного наследия в визуальный язык графического дизайна, а также факторы, определяющие эффективность этой трансформации в контексте формирования культурной идентичности дизайн-продуктов.

Целью исследования является определение принципов использования элементов нематериального культурного наследия в графическом дизайне, выявление их влияния на художественную выразительность и культурную идентичность визуальной продукции.

Методологическая база включает аналитический обзор научной литературы и культурологических источников, сравнительный анализ примеров графического дизайна с этническими и традиционными элементами, визуально-графический анализ композиции и символики. Метод междисциплинарных исследований позволяет углубить и расширить теоретические наработки.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исследования по интеграции элементов нематериального культурного наследия в графический дизайн начались в начале XXI века и постепенно углублялись на фоне растущего интереса к охране культурного наследия. Современные исследования в основном сосредоточены на трех направлениях.

- Анализ и систематизация элементов нематериального культурного наследия с примерами их применения: изучаются визуальные особенности использования культурных артефактов и конкретные примеры их использования в графическом дизайне.
- Изучение моделей и методов интеграции: некоторые исследования предлагают конкретные пути извлечения, реконструкции и инновационного использования элементов нематериального культур-

ного наследия.

- Раскрытие культурной ценности и значения передачи: акцент делается на анализе роли дизайна в поддержке использования нематериального культурного наследия.

Однако существующие исследования носят преимущественно описательный характер, ограничиваясь анализом отдельных примеров и не предлагая целостной теоретической модели интеграции культурных элементов.

Интеграция культурного наследия в проектные практики графического дизайна требует не просто вдохновения, а системного подхода, основанного на уважении к традиции и понимании ее глубинных смыслов. Элементы культуры в маркетинге – это стратегический ресурс, способный наделить бренд, продукт дизайна уникальной идентичностью и эмоциональной связью с аудиторией.

Культурный код, понимаемый как система устойчивых образов, архетипов и символов, является основным «сырьем» для дизайн-коммуникации. «Графические образы олицетворяют идею сохранения и передачи традиций и культурных ценностей» [1, с. 45]. Задача дизайнера заключается в его интерпретации и адаптации к современному визуальному языку и актуальным медиа.

В глобализированном мире графический дизайн все чаще становится площадкой для межкультурного диалога. С одной стороны, он способствует формированию универсального визуального языка. С другой – представляет собой мощный инструмент для выражения локальной идентичности и ведения равноправного диалога культур. Это порождает ключевую проблему: как избежать поверхностного копирования, заимствования форм без понимания сути и перейти к полноценному взаимодействию и культурной коллаборации.

Для разработки концепции, которая может сформировать идентичность бренда и закрепить его культурную значимость в сознании аудитории практические стратегии включают следующие ключевые этапы:

- точное определение, по каким аспектам бренд, исходя из основных его ценностей и целевой аудитории, совпадает с идеями и визуальными характеристиками культурного наследия;
- разработка уникальной визуальной системы с использованием ключевых кодов и символики культурного наследия в фирменных элементах (логотип, шрифт, цветовая гамма и другие визуальные элементы), чтобы обеспечить единый визуальный образ.

Адаптация элементов культурного наследия в современном графическом дизайне требует не просто механического переноса форм, а глубокого пере-

осмысления, основанного на системе принципов, обеспечивающих сохранение культурного кода при достижении актуальной эстетической выразительности и функциональности. На основе анализа успешных проектных практик и теоретических исследований можно выделить ряд ключевых принципов успешной интеграции:

- Подлинность культуры.
- Адаптивность к потребностям современного общества.
- Инновационность дизайна.
- Культурная эмпатия.
- Преемственность.
- Использование современных технологий.
- Интеграция с промышленным производством.

*Подлинность культуры* – это основа интеграции: сохранить суть и духовную основу элементов нематериального культурного наследия, избегая искажений и неправильного толкования «...Искажение смысла, трансформации стилистического своеобразия, ошибки при оцифровке и копировании, работы, выполненные на низком художественном уровне, могут исказить восприятие наследия, трансформировать его понимание нашими современниками» [2, с. 32].

При интеграции дизайнеры должны тщательно изучать исторический контекст, народные обычаи и культурное значение нематериального наследия, чтобы точно понять его ключевые черты. При визуальной адаптации нельзя произвольно изменять основную форму и смысл символов, чтобы дизайн точно передавал культурную суть наследия.

Примером могут служить маски Нуо в территориальном брендинге. В исследовании китайских практик брендинга (г. Бишань, г. Людуань, г. Юньнань) применялся семиотический анализ масок Нуо как знаков ритуального наследия. «В проектировании визуальной идентичности Бишаня ключевой акцент сделан на реинтерпретации ритуальной атрибутики Нуо – прежде всего маски, трансформированной в базовый семиотический элемент бренд-системы» [3, с. 37]. Духовная суть здесь – архаическая защита, изгнание зла, связь с предками. Без понимания этой глубинной семантики маска превратилась бы в пустой этнографический штамп. Исследователи изучали ритуальный контекст, чтобы затем транслировать именно защитную функцию, а не просто форму.

*Адаптивность к потребностям* современного общества. Современный принцип адаптации предполагает, что дизайнерские решения должны соответствовать современным эстетическим тенденциям, потребностям аудитории и конкретным сценариям

применения, обеспечивая модернизацию элементов нематериального культурного наследия. Дизайнеры должны учитывать эстетические предпочтения современной аудитории – такие как современные тренды, стиль и индивидуализация – и переосмысливать визуальную форму этих элементов, чтобы они соответствовали современным стандартам дизайна.

Например, традиция обучения как впитывания новых культурных кодов, зародившаяся в Витебском художественном народном училище и программа УНОВИС стали своеобразным принципом обучения и на кафедре дизайна и моды Витебского государственного технологического университета. «...главным также является не слепое копирование приемов и создание клонов супрематических существующих картин, а выявление как возможно следовать новаторству и свободному проявлению творческих начал в образовании, умению использовать принципы беспредметности в создании новых концептов в дизайн-проектировании» (рис. 1) [4, с. 7].

В зависимости от сферы применения – например, брендинг, упаковка или цифровой дизайн – необходимо корректировать способ их представления и степень адаптации, чтобы продукт мог реально использоваться. Например, в цифровом графическом дизайне с помощью динамического и интерактивного дизайна элементы культурного наследия могут лучше вписываться в контекст распространения в новых медиа. В дизайне культурно-творческой продукции их можно сочетать с современным образом жизни, повышая практичность продукта.

*Инновационность дизайна.* Принцип инновационного дизайна требует выхода за рамки поверхностного заимствования и стимулирования инноваций в визуальном языке и формах выражения элементов нематериального культурного наследия. Дизайнеры должны выйти за пределы устаревшей модели «изучение – копирование – применение» и с помощью реконструкции символов, перераспределения цветов, сочетания материалов и технологических инноваций создавать современные, инновационные интерпретации этих элементов [5].

Например, можно объединить и переосмыслить различные типы элементов нематериального наследия – такие как техника вырезания из бумаги (цзяньчжи) и каллиграфические линии – чтобы создать новые визуальные символы; сочетать цвета традиционных ремесел с современными модными оттенками, формируя новые цветовые решения; интегрировать элементы нематериального наследия с цифровыми технологиями и 3D-печатью, расширяя формы дизайнерского выражения (рис. 2).



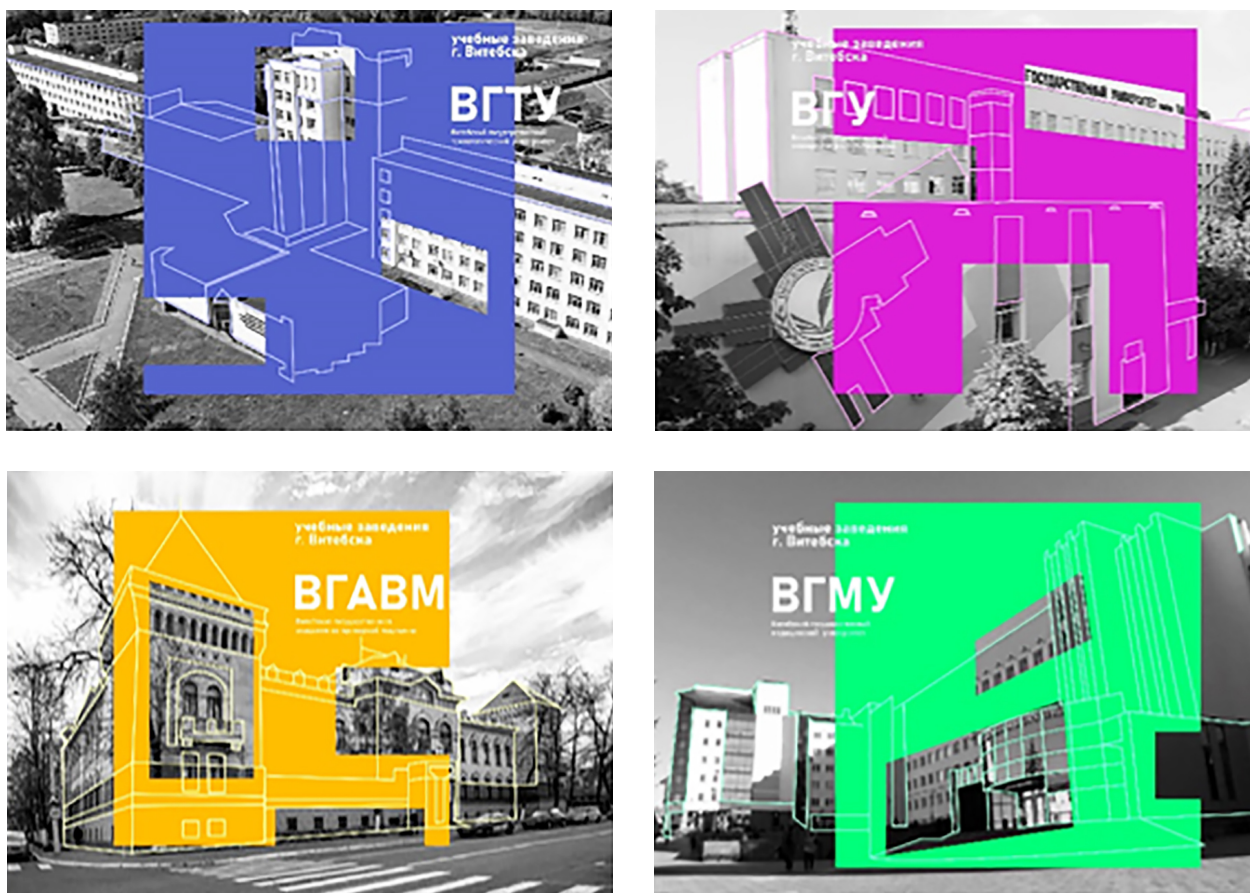


Рисунок 1 – Серия супрематических открыток, посвященная учебным заведениям города Витебска, учебное задание

Figure 1 – A series of Suprematist postcards dedicated to educational institutions in the city of Vitebsk, an educational assignment



Рисунок 2 – Китайская техника резьбы: упаковка для косметики

Figure 2 – Chinese carving techniques: cosmetic packaging

Подлинная инновация в дизайне начинается не с заимствования внешних форм наследия, а с понимания его глубинных смыслов – тех мировоззренческих кодов, которые веками определяли уникальность культуры. Именно эти смыслы, будучи переосмысленными, способны стать основой для создания подлинно новаторских и одновременно укорененных в традиции дизайн-концепций. Современное дизайн-мышление, ориентированное на инновации, предполагает не механическое копирование этнических мотивов, а их творческую трансформацию [6].

*Культурная эмпатия.* Принцип культурной эмпатии в дизайне представляет собой методологическую основу, согласно которой проектные решения должны не просто транслировать этнические мотивы, а выстраивать диалог с потребителем на уровне его ценностных ориентаций и эмоционального опыта. Культурная эмпатия означает способность дизайнера «настроиться» на волну восприятия целевой аудитории, предвидеть ее реакцию и создать такие формы, которые будут восприняты не как чужеродные или искусственно привнесенные, а как органичные, значимые и созвучные внутреннему миру человека. Это требует тонкого понимания того, как культурные коды взаимодействуют с индивидуальной психологией и коллективным бессознательным.

Эффективная реализация данного принципа предполагает дифференцированный подход к различным группам аудитории с учетом их культурного багажа, возрастной психологии и сложившихся эстетических предпочтений. Для молодого поколения, выросшего в цифровой среде, наиболее релевантными становятся формы, предполагающие интерактивность, игровое начало и технологическую новизну. Здесь элементы культурного наследия могут быть представлены через динамическую графику, анимацию, дополненную реальность, геймификацию – то есть через те каналы, которые являются для молодежи естественными и привлекательными. Традиционный орнамент в таком контексте перестает быть статичным музейным экспонатом, а превращается в живой, изменчивый язык, способный говорить с молодым человеком о вечных ценностях в актуальной для него форме.

В противоположность этому, для старшего поколения более значимыми оказываются консервативные, устойчивые формы, связанные с памятью, ностальгией и чувством преемственности. Здесь эмпатия дизайнера проявляется в бережном отношении к традиционным материалам, рукотворности, узнаваемости мотивов. Классические орнаментальные решения, воплощенные в интерьерном текстиле, предметах быта, декоративных панно, способны вызвать у пожилого человека чувство защищенности, укорененности, связи с родом и историей. Важно, чтобы

дизайн не разрушал эти значимые связи, а поддерживал их, предлагая современное, но не агрессивное прочтение знакомых образов [7].

Особое внимание в рамках принципа культурной эмпатии уделяется эмоциональному наполнению дизайн-объектов. Задача дизайнера – раскрыть этот потенциал через визуальный язык, то есть найти такие пластические, колористические, фактурные и световые решения, которые позволят этим смыслам проявиться. Например, символ долголетия может быть передан не просто путем его механического воспроизведения, а через плавные, текучие линии и теплую цветовую гамму, вызывающие ощущение покоя и гармонии.

*Преемственность.* Ключевой аспект преемственности – способность культурных кодов сохранять свою идентичность, одновременно вступая в диалог с новыми технологическими и эстетическими контекстами.

Как пример мирового опыта коллаборации, выступающей двигателем инноваций, можно привести кейс «Hermès и ремесленные традиции». Французский дом Hermès – классический пример того, как взаимодействие работает на уровне ДНК бренда [8]. Носители традиции (мастера-кожевники, литейщики, вышивальщицы, шорники) являются не просто исполнителями, а ключевыми фигурами в создании продукта. Дизайнеры бренда приходят к ним не с готовыми чертежами, а с эскизами, и вместе они ищут, как замысел может быть реализован через существующие или новые техники.

Принцип преемственности культурного наследия в графическом дизайне заключается в творческом переосмыслении исторических, художественных и культурных традиций, их интеграции в современные визуальные формы. Это развитие визуальных коммуникаций, где традиции переосмысляются, сохраняя связь времен и обеспечивая понимание контекста. Для создания ярких, культовых национальных брендов в дизайне необходимо выявлять те глубинные символы и смыслы, которые составляют основу, что позволит выстраивать необходимые коды и оригинальные концепции. «Философия бренда – совокупность ценностей, культуры, традиций и отношения к потребителям. Это связующая нить между смыслом и индивидуальностью...» [9, с. 33].

Например, проект PatternReborn, реализованный командой GangChen, ChaoYang и XiaolinFan в сотрудничестве с музеем искусств и ремесел Ханчжоу, предлагает свой подход к преемственности. Современный дизайн все чаще обращается к культурным корням, чтобы создать уникальные визуальные решения. Проект PatternReborn демонстрирует, как традиционные китайские ремеслен-



ные мотивы могут быть интегрированы в актуальные дизайнерские продукты, сохраняя историческую глубину и придавая им новое звучание.

Здесь традиционные китайские узоры из одежды и керамики подвергаются анализу и переосмыслению с помощью цифровых технологий. Лазерная гравировка и высокотемпературный обжиг позволя-

ют перенести аутентичные мотивы на современные материалы, сохраняя их узнаваемость, но придавая новую выразительность и долговечность. Гибкость разработанной визуальной системы позволяет использовать одни и те же элементы в разных масштабах и форматах – от выставочных плакатов до предметов быта (рис. 3).

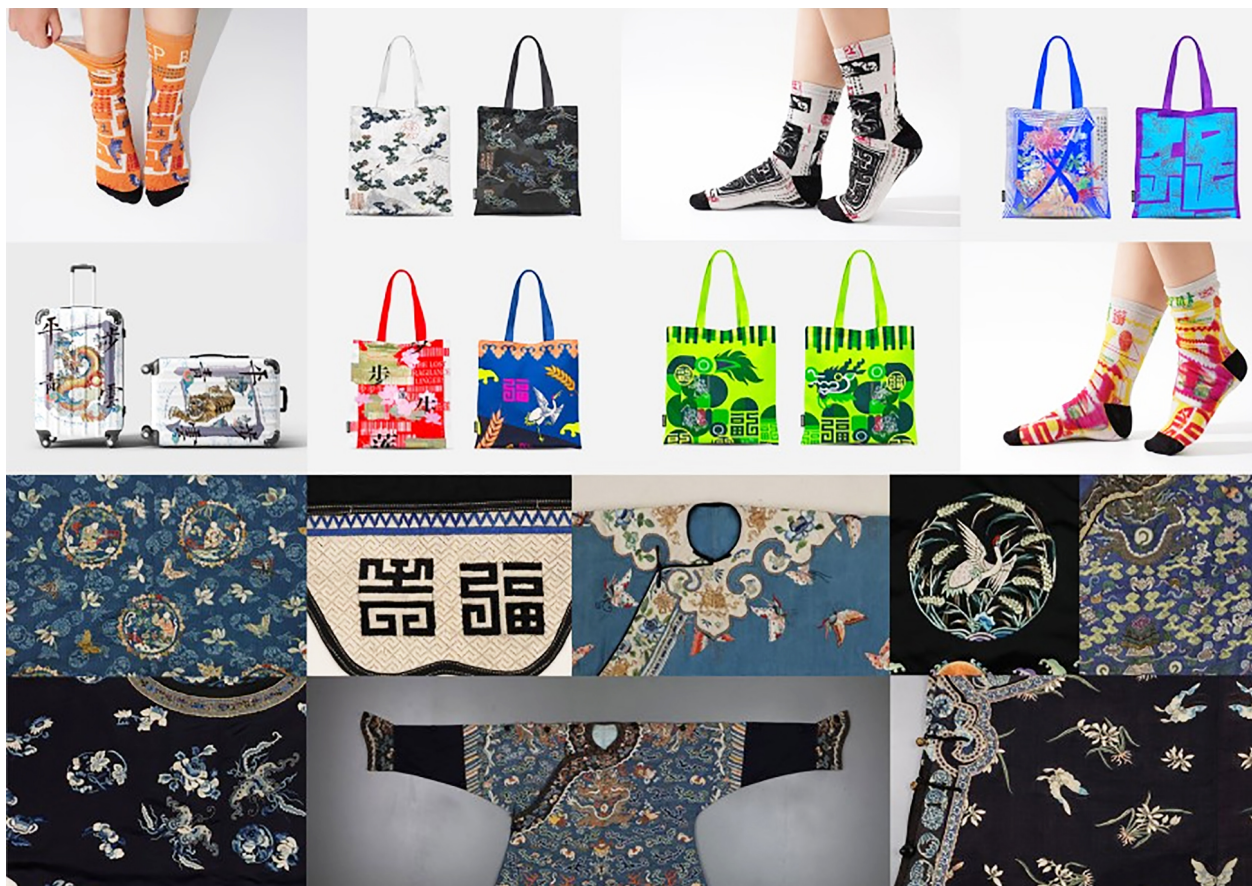


Рисунок 3 – Проект Pattern Reborn

Figure 3 – Pattern Reborn Project

Это расширяет границы применения традиционного искусства и делает его доступным для широкой аудитории. Проект был удостоен бронзовой награды A' Design Award-2025 в категории культурного наследия, что подтверждает его значимость для развития дизайна и сохранения культурной идентичности.

*Использование современных технологий.* Современные технологии способствуют преобразованию элементов культурного наследия в дизайнерские решения и предоставляют новые возможности для их адаптации в графическом дизайне, расширяя формы их представления и пути распространения [10].

Синтез традиционных ремесленных процессов и инновационных технологий открывает новые воз-

можности в проектной практике, позволяя не только сохранить аутентичность культурного кода, но и существенно обогатить визуально-тактильный язык современного дизайна. Этот подход формирует особый тип проектного мышления, в котором ручной труд и цифровые методы вступают в продуктивный диалог. Его результатом являются аутентичные дизайнерские решения. Например, сочетание вышивки с современными технологиями печати для создания уникального текстурного эффекта, что представлено на рисунке 4.

*Интеграция с промышленным производством.* Использование ресурса промышленного производства является важной гарантией интеграции и

устойчивого развития. Для его реализации необходимо создать механизм трехстороннего взаимодействия между носителями нематериального культур-

ного наследия, дизайнерами и субъектами рынка, где каждый участник выполняет свою уникальную функцию, что представлено в таблице 1.

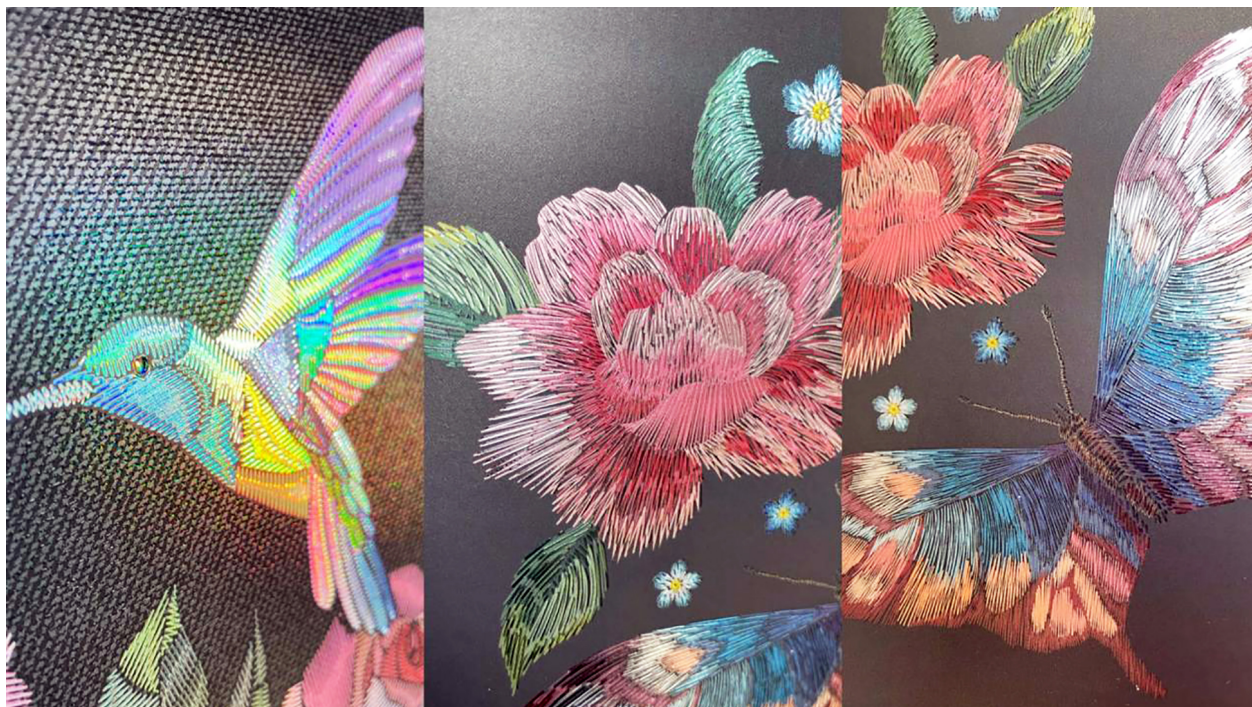


Рисунок 4 – Китайская вышивка, напечатанная на экологически чистой смоле

Figure 4 – Chinese embroidery printed on eco-friendly resin

Таблица 1 – Интеграция с промышленным производством

Table 1 – Integration with industrial production

| Участник                    | Роль                                         | Что привносит                                                      | Что получает                                              |
|-----------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Носители НКН                | Хранители аутентичности                      | Глубинное знание технологии, символики, сакральных смыслов         | Экономическую устойчивость, признание, новые каналы сбыта |
| Дизайнер                    | Переводчики между традицией и современностью | Понимание трендов, эргономики, новых материалов, визуального языка | Уникальный культурный код для творчества                  |
| Рынок (производство/бренды) | Масштабирование и распространение            | Производственные мощности, маркетинг, каналы сбыта, обратная связь | Уникальный продукт с добавленной культурной ценностью     |

Наглядным примером трехстороннего взаимодействия является кейс при поддержке Министерства культуры КНР «Традиционной ремесленной мастер-

ской Шанхайского университета в Цинхай-Голоке», который стал постоянной платформой для взаимодействия тибетских мастеров, столичных дизайнеров



и представителей креативных индустрий Шанхая. Шанхайский университет в рамках восточно-западного сотрудничества (Шанхай – провинция Цинхай) создал механизм, где:

- *Носители традиции* (тибетские мастера из Голока) обучаются современным подходам к дизайну и упаковке, но сохраняют контроль над аутентичностью техник.

- *Дизайнеры и преподаватели* выступают мостом, помогая адаптировать традиционные изделия (ковры, текстиль, вышивку) под требования современного рынка и эргономику.

- *Рынок* представлен через сотрудничество с предприятиями Шанхая и продвижение.

В результате традиционные ремесла получили выход на рынок, а мастера – устойчивый доход.

Еще один яркий пример – сотрудничество Chanel с легендарной вышивальной мастерской Maison Lesage, которая с 1924 года создает уникальные ткани и вышивки для высокой моды.

- *Мастера* хранят уникальные техники вышивки и архив из тысяч образцов.

- *Дизайнеры* (художественные директора модных Домов) приходят с концепцией коллекции.

- *Производство* (мощности Lesage) адаптирует исторические техники к современным материалам (например, вышивка по трикотажу или органзе).

В 2002 году Chanel приобрел мастерскую, но сохранил ее как независимую структуру, работающую с разными брендами. Это гениальный ход: бренд получил эксклюзивный доступ к наследию, а мастерская – финансовую стабильность и возможность передавать знания новым поколениям. Созданная в 1985 году школа Lesage передает технологии вышивки молодым мастерам, обеспечивая преемственность. Эта модель показывает: подлинная ценность создается именно на стыке ремесленного знания и дизайнерского видения, а не на конвейере, где мастер – лишь придаток машины.

Следующий кейс – «Ханьские ароматические мешочки» (входит в список нематериального культурного наследия Китая). Исследование 2022 года предлагает для этого наследия трехступенчатую стратегию, идеально совпадающую с исследуемой моделью:

- Повышение уровня подготовки носителей и развитие «духа ремесленника» для укрепления основы наследия.

- Внедрение AI-технологий для инновационного дизайна узоров, чтобы традиционное мастерство соответствовало современным эстетическим трендам. Здесь дизайнер работает в связке с технологиями.

- Обновление модели индустрии – интеграция культурного наследия с различными отрасля-

ми (туризм, креативные индустрии) для ресурсного обмена и экономической эффективности.

Пример с «Ханьскими мешочками» показывает, что технологии (AI) могут стать катализатором, усиливающим роль дизайнера. Нейросети помогают генерировать новые вариации узоров на основе исторических образцов, но контроль за сохранением культурного кода остается за дизайнером и носителями.

Таким образом, можно определить механизмы интеграции культурного наследия в современный дизайн.

*Семантический уровень* (концептуальное заимствование): дизайнер работает не с внешними формальными признаками, а с глубинными смысловыми структурами – культурными кодами, мифологемами, архетипическими образами. Проектное решение в данном случае транслирует не столько узнаваемую форму, сколько идею, ценностную установку. Примером может служить воплощение концепта «оберега» или «защиты» в дизайне экологичной упаковки, где семантика традиционной культуры переводится на язык современных экологических ценностей.

*Формально-эстетический уровень* (стилистическая адаптация). На этом уровне осуществляется перенос и трансформация визуально-пластических характеристик наследия – орнаментальных мотивов, колористических палитр, типографических решений, композиционных схем – в новую функциональную и технологическую среду. Сохраняя внешнюю узнаваемость, эти элементы адаптируются к требованиям современного производства, носителей и визуальной коммуникации.

*Методологический уровень* (анализ процесса). Наиболее глубокий уровень интеграции, при котором объектом заимствования становятся не результаты, а принципы традиционного ремесленничества – ручной труд как ценность. Эти принципы формируют философскую и методологическую основу проектного мышления, определяя подход к формообразованию, выбору материалов и взаимодействию с потребителем.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование культурного наследия требует от дизайнера исследовательских навыков и профессионального мастерства. Сначала он изучает культурный код и находит ключевые смыслы. Затем переводит их на современный визуальный язык. В итоге дизайн становится мостом между традицией и современностью [11].

Проведенный анализ демонстрирует, что культурные артефакты могут выступать не в роли пассивного декоративного ресурса, а являться активным



смыслообразующим фактором для современного графического дизайна. Их влияние выходит далеко за рамки стилизации и формирует устойчивую парадигму, в которой дизайн становится инструментом диалога между прошлым и настоящим.

Особое значение приобретает принцип трехстороннего взаимодействия между носителями традиции, дизайнерами и рыночными структурами, который обеспечивает аутентичность, творческую новизну и экономическую устойчивость.

Рассмотренные примеры наглядно демонстрируют, что успешная интеграция традиций возможна только через глубокое исследование его семантики, а не через поверхностное цитирование. Современные технологии, включая искусственный интеллект и цифровые двойники, выступают в этой модели не как замена творчеству, а как катализатор, расширяющий

возможности дизайнера и позволяющий создавать инновационные продукты при сохранении культурного кода. Формирование новых брендов на основе культурного наследия становится перспективным направлением. Продукты и визуальные коммуникации, несущие в себе осмысленный культурный код, приобретают дополнительную ценность, что подтверждается готовностью аудитории платить премиальную цену за изделия, созданные с уважением к традиции.

Культурное наследие в графическом дизайне перестает быть пассивным объектом и превращается в активный ресурс разработки продуктов дизайна. Дизайнер, выступая в роли переводчика и медиатора, способен не только создавать эстетически привлекательные и функциональные решения, но и вносить вклад в поддержание культурного разнообразия, укрепление идентичности и диалог поколений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Демшина, А. Ю. Культурное наследие в дизайне / А. Ю. Демшина // *Вестник Санкт-Петербургского государственного института культуры*. – 2024. – № 4. – С. 31–36. DOI 10.30725/2619-0303-2024-4-31-36.
3. Гао, Г. Исследование методов анализа и визуальной трансляции культурного наследия в дизайне городского бренда / Г. Гао // *Культура и искусство*. – 2025. – № 7. – С. 32–48. DOI: 10.7256/2454-0625.2025.7.75110
4. 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.
5. Roy, R. Creative Design and Innovation: How to Produce Successful Products and Buildings / R. Roy. – Abingdon, Oxon :Routledge, 2024. – 207 p.
6. Taura, T. Creativity in Innovation Design: the Roles of Intuition, Synthesis, and Hypothesis / T. Taura, Y. Nagai // *International Journal of Design Creativity and Innovation*. – 2017. – Vol. 5, № 3. – P. 131–148.
7. Лю, Ю. Исследование механизма эмоционального дизайна в китайских культурных и креативных

продуктах / Ю. Лю, С. Фэн, Ц. Ван, В. Кун, В. Чэнь // *Наследие науки*. – 2022. – Т. 10. – С. 1–18. – DOI: 10.1186/s40494-022-00762-3.

8. Салахов, Р. Ф. Формы взаимодействия ученых и бизнесменов в продвижении этнических культур (на примере КазГИК) / Р. Ф. Салахов, Ы. Т. Турсуналиева, А. Р. Ташметова // *Вестник Казанского государственного университета культуры и искусств*. – 2025. – № 1. – С. 115–122. <https://scinetwork.ru/articles/60786>.

9. 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.

10. Kazarnovskaya G, Abramovich N. Adaptation of hand weaving technique for modern production of copies of slusks belts. AIP Conference Proceedings. International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), Vitebsk, 08–10 June 2021, Vol. 2430. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022. p. 020002. – DOI: 10.1063/5.0077173.

11. 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.

## REFERENCES

1. Popova AV, The use of linen fabric in the design of souvenir packaging. *Materialy i tekhnologii*

= *Materials and Technologies*. 2018; 2(2):94–99. – DOI: 10.24411/2617-149X-2018-12017. (In Russ.).

2. Demshina A Yu. Cultural heritage in design. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo instituta kul'tury = Bulletin of the St. Petersburg State Institute of Culture*. 2024;4:31–36. – DOI: 10.30725/2619-0303-2024-4-31-36.(InRuss.).
3. Gao G. A study of methods for analyzing and visually communicating cultural heritage in urban brand design. *Kul'tura i iskusstvo = Culture and Art*. 2025;7:32–48. – DOI: 10.7256/2454-0625.2025.7.75110 (In Russ.).
4. 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 tekhnologicheskiy universitet*; 2024:136.
5. Roy R. Creative Design and Innovation: How to Produce Successful Products and Buildings. Abingdon, Oxon : Routledge; 2024:207.
6. Taura T. Creativity in Innovation Design: the Roles of Intuition, Synthesis, and Hypothesis. *International Journal of Design Creativity and Innovation*. 2017;5(3):131–148.
7. Lyu Yu, Fen S, Van Ts, Kun V, Chen' V. Research on the mechanism of emotional design in Chinese cultural and creative products. *Nasledie nauki = The Legacy of Science*. 2022;10:1–18. – DOI: 10.1186/s40494-022-00762-3.
8. Salakhov RF, Tursunaliyeva YT, Tashmetova AR. Forms of interaction between scientists and businessmen in promoting ethnic cultures (on the example of KazGIK). *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i iskusstv = Bulletin of the Kazan State University of Culture and Arts*. 2025;1:115–122. <https://scinetwork.ru/articles/60786> (In Russ.).
9. Zakharchuk NS, Popkovskaya LV. Identification of brand DNA in the context of author's creativity. *Materialy i tekhnologii = Materials and technologies*. 2024;1(13):42–48. – DOI:10.24412/2617-149X-2024-1-42-48. (In Russ.).
10. Kazarnovskaya G, Abramovich N. Adaptation of hand weaving technique for modern production of copies of slusks belts. AIP Conference Proceedings. International conference on textile and apparel innovation (ICTAI 2021), June 08–10 2021, Vitebsk. Vitebsk: AIP PUBLISHING; 2022;2430:020002. – DOI: 10.1063/5.0077173.
11. 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.

#### 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>

##### Чжан Шу

Магистрант 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. (Engineering), Assoc. Prof., Head of the Department of Design and Fashion of the Educational Institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail:* vio2004@yandex.ru

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0159-3392>

##### Zhang Shu

Master's student of the Design Faculty of the Educational Institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail:* designimoda@yandex.by

Статья поступила в редакцию 17.03.2026.

## Остановочный павильон как объект дизайна городской среды

В. Ху,  
Н. Н. Самутина

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

**Аннотация.** В работе обосновывается необходимость перехода от не соответствующих современным эргономическим требованиям конструкций к multifunctional объектам дизайна городской среды, отвечающим современным эргономическим, эстетическим и социокультурным требованиям. Актуальность темы определена тем, что каждому человеку приходится сталкиваться с ожиданием транспорта. Целью данной работы стало создание проекта павильона автобусной остановки с учетом всех конструкторских, технологических, экономических и эстетических аспектов. Главная задача – сделать автобусную остановку современной и комфортной, приспособленной к защите от любых неблагоприятных погодных условий. Проектное решение включает функциональные зоны: место ожидания с защитой от осадков, встроенный мини-магазин и информационное электронное табло. Особое внимание уделено семиотической составляющей: на элементах павильона нанесена гравировка с изречением поэта, что превращает остановку из транзитного узла в точку культурной коммуникации и смысловую доминанту прилегающего пространства. Метод исследования: литературно-обзорный и аналитический. Основными принципами разработки являются эргономичность, функциональность и соответствие эстетическим требованиям. Область практического применения – остановочный павильон, расположенный возле книжного магазина. В статье анализируются принципы формообразования, цветовые и материал-технические решения, обеспечивающие единство с архитектурным окружением и подчеркивающие локальную идентичность. Предложенная модель остановочного павильона расширяет функциональный диапазон типового объекта и может быть тиражирована в других локациях с учетом их культурного профиля. Результаты исследования могут быть использованы в практике архитектурно-дизайнерского проектирования остановок общественного транспорта, а также на курсах дизайна предметно-пространственной среды.

*Ключевые слова:* остановочный павильон, multifunctional объект, локальная идентичность, комплексное проектирование, дизайн-проект, общественное пространство.

## Bus Stop Pavilion as an Object of Urban Environment Design

Wenran Hu,  
Natalia N. Samutsina

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

**Abstract.** The paper substantiates the need to move from structures that do not meet modern ergonomic requirements to multifunctional urban design facilities that meet modern ergonomic, aesthetic and socio-cultural requirements. The relevance of the topic is determined by the fact that everyone has to deal with waiting for transport. The purpose of this work was to create a design for a bus stop pavilion, taking into account all design, technological, economic and aesthetic aspects. The main task is to make the bus stop modern and comfortable, adapted to protect against any adverse weather conditions. The design solution includes functional areas: awaiting area with rain protection, a built-in mini-store and an electronic information board. Special attention is paid to the semiotic component: the elements of the pavilion are engraved with the poet's dictum, which turns the stop from a transit hub into a point of cultural communication and a semantic dominant of the surrounding space. Research method: literature review and analytical. The main principles of the development are ergonomics, functionality and

compliance with aesthetic requirements. The field of practical application is a bus stop located near a bookstore. The article analyzes the principles of shaping, color and material-technical solutions that ensure unity with the architectural environment and emphasize local identity. The proposed model of a bus shelter expands the functional range of a typical facility and can be replicated in other locations, taking into account their cultural profile. The results of the research can be used in the practice of architectural and design constructions of public transport stops, as well as in courses for the design of the object-spatial environment.

*Keywords: bus stop, multifunctional facility, local identity, integrated design, design project, public space.*

## ВВЕДЕНИЕ

В современном обществе, где внешний вид играет значительную роль в самовыражении города, остановка общественного транспорта становится не просто местом для ожидания, но и пространством для отдыха. Павильоны, продуваемые ветром, не спасающие даже от дождя, в которых порой отсутствует навес – действительно проблема во многих городах. Для того чтобы повысить комфорт пользователей общественного городского транспорта разрабатывается этот проект. Основная цель дизайна объекта остановки городского общественного транспорта заключается в создании пространства, которое не только отражает современные тенденции и эстетические предпочтения, но и способствует отдыху пассажиров во время ожидания транспорта. Дизайн городского общественного пространства такого типа должен привлекать широкую аудиторию, создавая при этом ощущение уюта и эксклюзивности.

Современные тренды в дизайне остановок включают в себя использование натуральных материалов, мягкое освещение, которое подчеркивает элементы дизайна, а также эргономичную мебель, способствующую отдыху. Акцент также указывается на аспекты услуг, такие как размещение небольших магазинов, где пассажиры, ожидая транспорт или пережидая неблагоприятные погодные условия, могут купить небольшие товары, кофе и воду.

Ключевым элементом дизайна является создание функционального пространства, которое удовлетворяет как потребности пассажиров, так и не нарушает специфику и пространство города. Это достигается за счет продуманной планировки, которая включает в себя зоны для ожидания, зону для магазина, места для размещения табло с указанием маршрутной линии и табло с указанием времени прибытия транспорта, а также зону зарядки мобильного телефона. Важным аспектом является создание атмосферы, которая отражает философию и идеалы города. Повышение комфортабельности системы работы городского транспорта, куда входят и автобусные остановки, увеличит количество пассажиров. А, следовательно, позволит многим жителям городов отказаться от личного транспорта, что, в свою очередь, кардинальным образом сможет улучшить

экологическую ситуацию в современных городах.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые для г. Витебска с учетом дополнительных потребностей пассажиров разрабатывается концепция и обосновывается многофункциональный остановочный павильон, включающий зону ожидания, мини-магазин и информационное табло, а также во введении метода семиотического кодирования объекта путём гравировки литературной цитаты, что превращает остановку в точку культурной коммуникации и маркер локальной идентичности.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Американский ученый во второй половине XX века Кевин Линч в своей книге «Образ города» исследует концепцию проектирования городской среды, упомянув о том, что «город имеет свою читаемость, общественные объекты в городе, дорожные ландшафты, архитектурные блоки, растительность и даже цвета освещения создают его уникальные и узнаваемые характеристики. При этом, люди, которые есть в городе, должны отдыхать, думать и вдохновляться. Городское планирование и строительство, изучая взаимосвязь между городской архитектурой и окружающей средой, тем самым раскрывая внутренние характеристики города и его уникальность» [1].

Рассмотрены остановки общественного транспорта в различных странах мира. Установлено, что остановки должны отвечать всем требованиям современного мира: красоте, удобству, и даже экологичности. Дизайн-проект павильона должен быть не только функциональным и долговечным, но и экологически безопасным, соответствуя всем техническим нормам и стандартам безопасности. Важно, чтобы дизайн способствовал позитивному психологическому воздействию на пассажиров как с экономической, так и с культурной точки зрения [2].

Авторами [3] рассмотрены автобусные остановки в разных странах мира и рассмотрена устойчивость к экстремальной погоде, тепловой комфорт, доступность, устойчивая энергетика. Статья подтверждает, что тема остаётся недостаточно изученной, особенно в части качественных методов исследования пользовательского опыта.



Исследование и отбор материалов происходили с особой тщательностью, чтобы понять ключевые моменты, которые влияют на конечный дизайн и его реализацию.

В результате анализа были приняты следующие решения: выбор износостойких и долговечных материалов для обеспечения длительного срока службы; применение цветовой палитры с яркими акцентами, чтобы создать визуально привлекательное и в то же время спокойное пространство; установка дополнительных систем освещения, чтобы подчеркнуть красоту и создать подходящую атмосферу для различных зон проекта.

Каждое из этих решений направлено на создание эффективного, красивого и приветливого пространства, которое будет радовать пассажиров. Рассмотрены автобусные остановки в г. Витебске (рис. 1).

Автобусная остановка на Московском проспекте (рис.1 а) обладает средними размерами, расположена рядом с университетом, цвет корпуса которой черный, в отличие от яркой рекламы небольших магазинов у дома. Потолок имеет плоскую форму, в то же время соединение колонн станции с потолком имеет I-образную конструкцию, что не позволяет снегу сходить в морозную погоду. Павильон ожидания станции изготовлен из твердой металлической нержавеющей стали, общий стиль дизайна лаконичен и практичен. Однако дизайн не отражает культурные особенности г. Витебска и не может продемонстрировать национальные особенности объекта.



а (a)



б (b)



**Рисунок 1 – Автобусные остановки г. Витебска:**  
а – на Московском проспекте; б – на ул. Правды

**Figure 1 – Vitebsk bus stops:**  
a – on Moskovsky Prospekt; b – on Pravda Street

Автобусная остановка на улице Правды (рис.1 б) имеет желтый цвет. Потолок представляет собой уникальную круглую арку, а материал колонны также выбирается из металлической нержавеющей стали, что обеспечивает хорошую долговечность. Его общая форма относительно прозрачна, отсутствуют особенности. В павильоне остановки на противоположной стороне преобладает гармоничное сочетание синего и белого цветов. Форма потолка плоская, соединение колонны и потолка имеет перевернутую L-образную форму. Павильон изготовлен из металлической нержавеющей стали, в настоящее время на станции есть только одна крыша, достаточная для защиты от ветра и дождя.

Исходя из проведенного анализа, проведено исследование, содержащее опрос 50 пассажиров, включающий в себя основную информацию о пользователях остановочных пунктов, потребностях в процессе ожидания и степени понимания и идентификации Витебской региональной культуры. Анализировались вопросы, касающиеся возможности установления ночного освещения и ограничений безопасности, вида и формы крыши, электронного табло, а также рассматривалась возможность размещения на остановочном пункте магазина [4–5].

Установлено, что, когда большинство пассажиров (91 %) прибывают на автобусную остановку, они предпочитают сначала посмотреть название автобусной остановки и информацию о предстоящем автобусе, а затем – стоять в ожидании или отдохнуть на сиденье для отдыха (68 %). Опрос показал, что основными причинами, по которым люди не отдыхают на сиденьях на станции, являются слишком мало сидений (58 %) или нет мест (62 %), или сиденья находятся на некотором расстоянии от места посадки (74 %), что неудобно, но частая практика проектирования из-за соблюдения требований безопасности [6–7]. Необходимо наблюдать за автобусом, который прибывает на станцию. Поэтому обзор места прибытия транспорта необходимо делать открытым. Во время ожидания, некоторые пассажиры предпочитают повернуться и наблюдать за рекламой на задней панели станции (47 %), поэтому необходима качественная рекламная информация. Большинство пассажиров (76 %) часто проверяют свои мобильные телефоны во время ожидания на станции: хотя скоротать скучное время в ожидании и узнать время прибытия автомобиля на станцию через приложение или веб-страницу. Поэтому размещение usb-портов на остановочном пункте поможет пассажирам провести время с пользой.

Исходя из вышеуказанного, потребности пассажиров на остановочном пункте были разделены на базовые и дополнительные. Основные потребности



выражаются в затенении от солнца и дождя, в ожидании и отдыхе, запросе информации, позиционировании местоположения транспортного средства в режиме реального времени, напоминании о прибытии транспортного средства на станцию и т. д. Дополнительные потребности отражаются в интеллектуальных объектах, в гуманизации, культурной идентификации, развлечениях и общении и т. д. Поэтому в целом решено разделить остановочный пункт на два функциональных пространства: для продажи и ожидания предусмотрена зона ожидания, отделена линия движения пешеходов от автомобилей. Пространство ожидания является открытым, а пространство обслуживания является закрытым, благодаря проектированию общего внешнего вида платформы дизайн интегрируется с окружающей средой [8–9].

Компоновка пространства платформы основана на принципе удовлетворения сервисных функций и опыта путешествий пассажиров. Автобусная остановка является частью общественного пространства города по своим атрибутам. Платформа проек-

тируемой автобусной остановки имеет умеренный объем, благодаря рациональной компоновке в пространстве, чтобы удовлетворить потребности пассажиров в обслуживании во время ожидания. Установлено, что во время ожидания пассажиров на платформе существуют некоторые личные потребности, такие как необходимость покупки товаров, которые не могут быть быстро решены, маршрут и профиль города неясны без консультаций и т. д. Неудовлетворение этих потребностей также ограничивает поведение пассажиров в поездках и снижает эмоции пассажиров в поездках. Поэтому в проект добавлен павильон с магазином, световое табло с расписанием маршрутов и схемой движения транспорта, подсветка для основных элементов остановки в темное время суток, табло с временем прибытия транспорта в реальном времени, usb-порты для зарядки телефона, звездное небо в качестве декора крыши, которые будут интегрированы в дизайн [10].

В ходе работы выполнены размерный план проекта (рис. 2). в нем размещены зоны с расставленной мебелью и оборудованием.

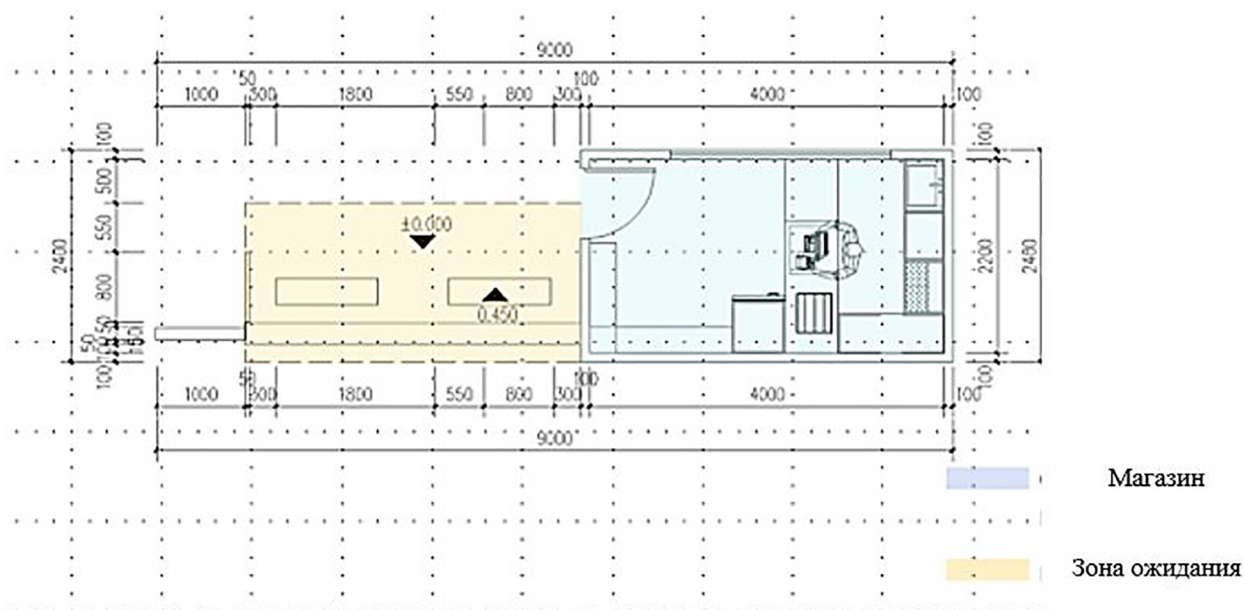


Рисунок 2 – Обмерный план

Figure 2 – Dimensional plan

На первом этапе было разработано объемно-планировочное решение для остановочного пункта, учитывая уникальные характеристики пространства, такие как высота, общая площадь, наличие магазина и наличие у него окон и дверей. Процесс

включал детальное зонирование помещений, обеспечивая оптимальное использование каждого квадратного метра (рис. 3) [11].

Разработан вариант 3D-модели, представленный на рисунке 4.

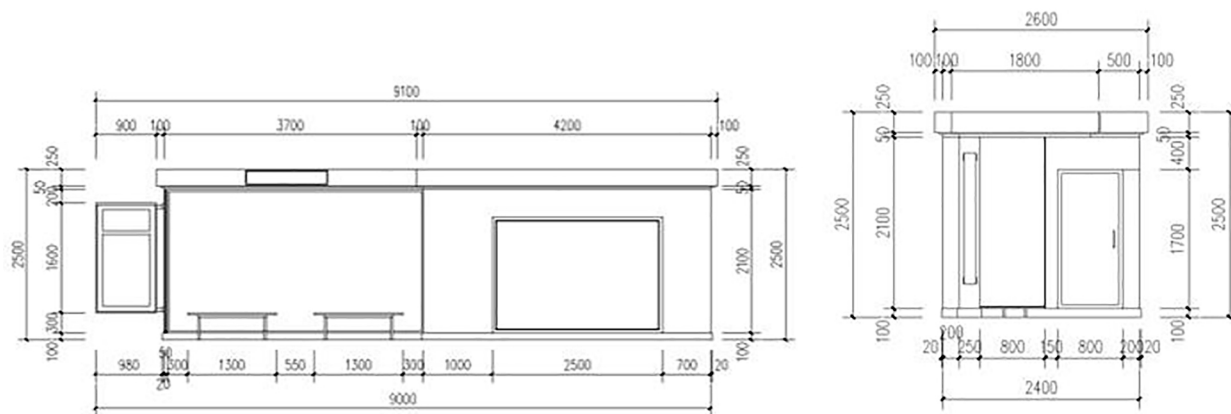


Рисунок 3 – Схема расположения элементов автобусной остановки с оборудованием

Figure 3 – Layout of the elements of a bus stop with equipment



Рисунок 4 – Остановочный павильон

Figure 4 – Bus stop pavilion

Вариант решено выполнить с использованием в качестве оборудования скамеек, мусорных баков, добавления панели табло и магазина, который решено оснастить полками и кофе-машиной, автобусная остановка приобрела целостный и законченный вид. Решено выбрать спокойную гамму оттенков, отказаться от кричащих цветов раздражающих глаз, оформление табло также по стилю и цвету должно дополнить общую композицию [11].

В качестве средства защиты от солнца и дождя установлены большие навесы, изготовленные из прочного, долговечного материала с хорошей устойчивостью к ветру. Также продумана доступная пространственная среда – отсутствие склона грунта позволит удобное использование пандуса для инвалидов и детских колясок, пожилых людей и других специальных групп населения.

Осветительные средства: крыша навеса, похожая на звездное небо, с солнечными панелями питания, установка достаточного осветительного

оборудования, достижение самодостаточного электроснабжения, сочетание художественного и практического характера позволит обеспечить то, что автобусная остановка также создаст хорошую среду ожидания в ночное время. Осветительное оборудование использует энергосберегающие и экологические светодиодные лампы, снижающие потребление энергии.

В целом конструкция состоит из крыши, закрепленной на каркасе, и павильона. Конструкция крыши представляет собой металлическую пластину, прямую на краях и с задней стенкой, прикрепленную на каркас из квадратной металлической профильной трубы. Для придания устойчивости конструкции спереди были добавлены две стойки и на каждую стойку прикреплены ребра жесткости. Вся конструкция крепится на саморезы и стяжки. Так как зимой выпадает большое количество снега, нагрузка на крышу достаточно сильно увеличивается, поэтому в каркас для крыши пришлось добавить шесть дополнительных перпендикулярных балок, так же сделанных из профильной металлической квадратной трубы. Павильон состоит из металлических профилей различного типа и пластин из монолитного поликарбоната. Также для придания жесткости конструкции использованы металлические части. Сбоку павильон полностью закрыт от пола до потолка поликарбонатом и по строению немного напоминает букву П. Это позволит защитить пассажиров, ожидающих свой транспорт, от ветра и дождя со всех сторон.

Основание скамеек сделано из металла, а сиденья – из древесно-полимерного композита. Для удобства боковые части оснащены скамейками. Также автобусный павильон оснащен мусорными ящиками, они повторяют пластику всего проекта, что

позволяет им гармонично вписаться в концепцию. При создании мусорных ящиков были использованы те же материалы, что и в скамейках. По задумке в данных мусорных ящиках используются мусорные пакеты.

Если оборудовать крышу солнечными батареями, то летом они обеспечат остановку освещением, что снижает затраты на электроэнергию. Однако, это не обязательные комплектующие, они удешевляют проект данной концепции, но устанавливаются и используются покупателем по собственному усмотрению.

Данная остановка оснащена оповещением о приближении транспорта, выполняемым посредством системы GPS, или датчиками и считывающими устройствами, установленными на автобусах и остановках. Для защиты от вандализма павильон необходимо оснастить камерой видеонаблюдения.

Также должно размещаться табло с маршрутом и транспортной сеткой для данной улицы города. Карта г. Витебска представлена на рисунке 5. Информационное табло о приближающемся транспорте представлено на рисунке 6.



Рисунок 5 – Карта маршрута транспорта г. Витебска на остановке

Figure 5 – Vitebsk transport route map at the bus stop

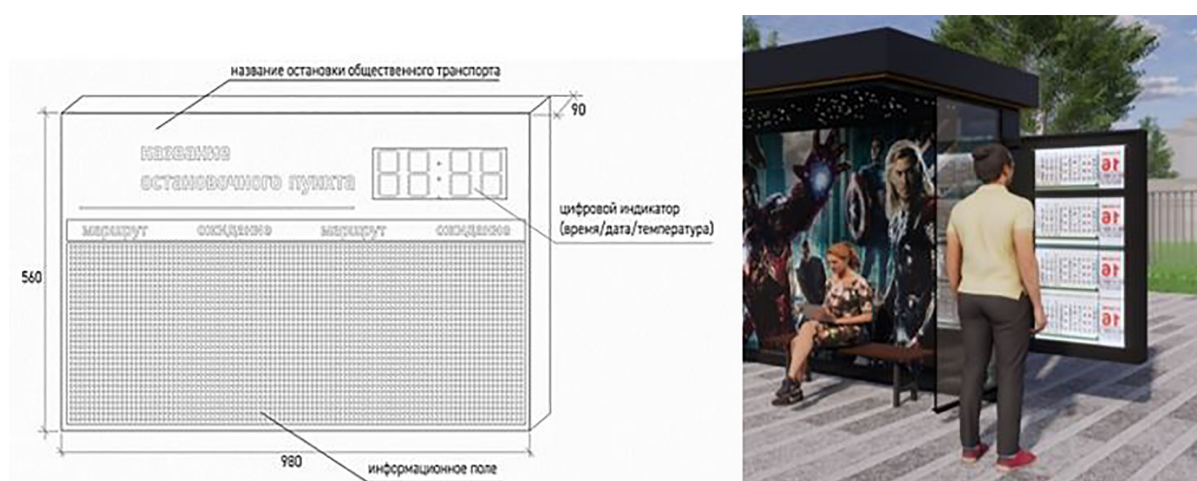


Рисунок 6 – Внешний вид информационного табло

Figure 6 – The appearance of the information board



В полной мере учитывая поток людей на автобусной остановке и срочность времени пассажиров, спроектирован магазин с рациональной планировкой и удобным процессом покупок, чтобы покупатели могли быстро найти нужные товары и завершить покупку. Внешний дизайн круглосуточного магазина сочетается с общим стилем автобусной

остановки, не является навязчивым и становится органической частью автобусной остановки. В нем создана для покупателей комфортная среда для покупок, включая хорошее освещение, подходящую температуру, аккуратную выкладку товаров и т. д., чтобы покупатели могли чувствовать себя счастливыми и расслабленными во время покупок (рис. 7).



Рисунок 7 – Зона магазина

Figure 7 – Store area

Зона отображения товара. В соответствии с типом товара, зона отображения, например, зона еды, зона напитков, зона канцелярских товаров и т. д. разграничены. Высота витрины умеренная, удобный для клиентов доступ к товарам.

Кассовая зона удобна для клиентов. Оснащена кассой самообслуживания и ручной кассой для удовлетворения потребностей различных клиентов. Вокруг кассовой зоны оборудованы холодильные шкафы и морозильные камеры для хранения товаров, таких как продукты питания и напитки, которые нуждаются в охлаждении или замораживании. Полки в основном включают продукты питания, напитки, предметы первой необходимости, газеты и журналы для удобства пассажиров.

Предлагается использовать светодиодную ленту из ПВХ для украшения рамы. Монтаж выполняется с помощью винтовой фиксации. Материал потолка – солнечные фотоэлектрические панели. Принцип изготовления светильника крыши заключается в создании эффекта звездного неба путем установки волоконно-оптических материалов и источников света на подвесном потолке, используя принцип отражения и преломления света. Для этого требуется материал из оптического волокна. Обычно используется пластиковое оптическое волокно или стеклянное волокно, его диаметр и длина могут быть выбраны в соответствии с требованиями. Светодиодный источник света, контроллер используются для контроля цвета, яркости и мерцания режима источника света и т. д. (рис. 8).

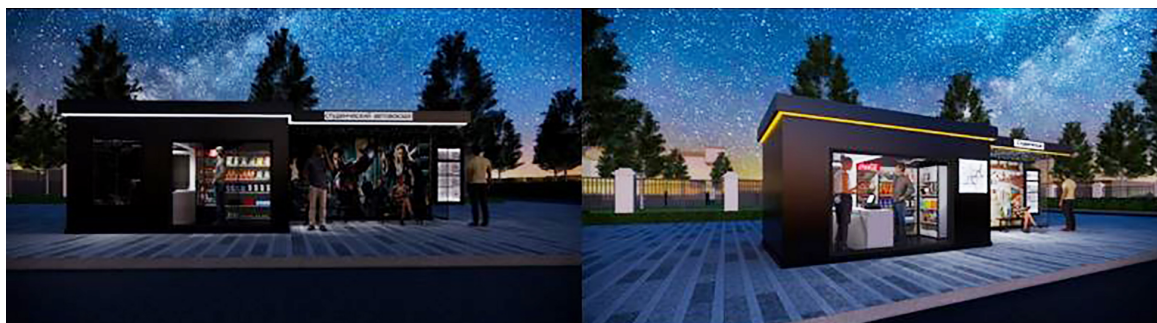


Рисунок 8 – Освещение в ночное время

Figure 8 – Lighting at night

Рекламные щиты выполнены в виде большого экрана Samsung LED. Особенности материала: высокая яркость и контраст изображения, широкий угол обзора, удаленное управление, гибкий дизайн. Маршрутные таблички: акриловые листы.

Разработка инклюзивного прототипа «умной» остановки рассмотрена еще авторами [11], которая становится «взаимосвязанным общественным пространством». Использует ИКТ-инфраструктуру для привлечения людей к совместному времяпрепровождению в общественных пространствах.

Остановку предполагается установить на остановочном пункте рядом с книжным магазином, который оказывает социальное влияние на городскую жизнь. Интеграция литературы в городскую среду осуществляется через дизайн и арт-объекты, превращает город в «читающий текст». Такая наглядная интеграция литературного кода в инфраструктуру города является актуальной. Поэтому в проекте используется паблик-арт на стене остановке в виде таблички, на которой выполнена гравировка цитаты

А. С. Пушкина «Все мгновенно, все пройдет; что пройдет, то будет мило». Выполнение гравировки возможно к осуществлению на ручной лазерной гравировочной машине. Сама цитата – это глубокое философское наблюдение о том, что со временем даже трудные моменты прошлого начинают восприниматься с теплом или светлой грустью. Является примером того, как классическая поэзия становится частью городского пространства. Размещение такой цитаты на остановке превращает обыденный объект в знак [12].

С точки зрения семиотики возникает несколько уровней значений:

- денотат в виде набора букв (буквальное значение);
- коннотат в виде отсылки к книжному магазину, к литературе, к интеллектуальной жизни города (культурное значение);
- мифологический уровень по Р. Барту – символ читающего города, где ценят культуру.

Ниже представлена таблица 1 по семиотическому анализу элементов остановочного павильона.

**Таблица 1 – Семиотический анализ элементов остановочного павильона**

**Table 1 – Semiotic analysis of bus stop pavilion elements**

| Элемент остановки                                                    | Означающее<br>(материальная форма)                                       | Означаемое<br>(прямое значение / функция)                             | Культурный код<br>(коннотация,<br>мифологический уровень)                                                        |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                    | 2                                                                        | 3                                                                     | 4                                                                                                                |
| Крыша со встроенными солнечными панелями и эффектом «звёздного неба» | Металлический каркас, фотоэлектрические панели, оптоволоконная подсветка | Защита от осадков, автономное энергоснабжение, декоративное освещение | Экологичность, технологичность, романтизация ожидания, звёзды как знак уюта и рефлексии                          |
| Информационное электронное табло                                     | ЖК-экран с бегущей строкой, GPS-модуль                                   | Отображение времени прибытия транспорта, номера маршрута              | Знак «умного города»; контроль, предсказуемость, снижение тревожности                                            |
| Встроенный мини-магазин                                              | Отдельное закрытое помещение с полками, холодильником, кассой            | Продажа товаров (вода, кофе, снеки, газеты)                           | Коммерциализация общественного пространства; забота о пассажире (возможность скоротать время и утолить жажду)    |
| USB-порты для зарядки                                                | Влагозащищённые разъёмы на корпусе павильона                             | Подключение мобильных устройств для зарядки                           | Знак цифровой доступности, вовлечённость в повседневные практики (ожидание перестаёт быть «потерянным временем») |
| Скамейки из древесно-полимерного композита                           | Металлическое основание и планки из ДПК                                  | Место для сидения                                                     | Природоподобие, теплота материала; знак того, что ожидание может быть комфортным                                 |
| Мусорные ящики, повторяющие дизайн павильона                         | Металлический корпус с отделкой под ДПК, встроенные пакеты               | Утилизация отходов                                                    | Знак чистоты и порядка; экологическая ответственность, визуальная гармония                                       |



## Окончание таблицы 1

End of Table 1

| 1                                     | 2                                            | 3                                | 4                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гравировка с цитатой<br>А. С. Пушкина | Выгравированные буквы<br>на панели павильона | Текст философского<br>содержания | Отсылка к книжному магазину,<br>интеллектуальной жизни<br>города; превращение остановки<br>в «читающееся» пространство,<br>символ культурной идентичности |

В итоге становится понятно, что книжный магазин выступает скрытым коммуникатором: вместо прямого призыва он создаёт культурный контекст через гравировку на остановке, которая становится его визитной карточкой в городской среде. Такая гравировка формирует локальную идентичность – житель вступает в диалог с местом, превращая транзитную зону в знакомое пространство. Рутинное ожидание оборачивается событием, а неожиданная литературная встреча может стать поводом для разговора. В итоге остановка начинает транслировать ценности, делая город уникальным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые разработана и обоснована концепция многофункционального остановочного павильона, объединяющего в единой модульной конструкции зону ожидания с защитой от осадков, встроенный мини-магазин и информационное электронное табло, что расширяет функциональный диапазон типовых остановочных пунктов и повышает комфорт пользо-

вателей. Выявлены и систематизированы эргономические и функциональные недостатки остановочных павильонов г. Витебска, на основе чего сформулированы критерии проектирования остановочного павильона нового типа.

Предложен метод семиотического кодирования остановочного павильона путём нанесения гравировки с литературной цитатой, что превращает транзитный объект в точку культурной коммуникации и маркер локальной идентичности, устанавливая смысловую связь с расположенным рядом книжным магазином.

В отличие от зарубежных «умных» остановок, предлагаемая модель адаптирована к климатическим условиям Республики Беларусь. Областью возможного практического применения являются различные остановочные пункты общественного транспорта в различных городах. Результаты исследования могут быть использованы в практике дизайн-проектирования остановок общественного транспорта, а также внедрены в учебный процесс УО «ВГТУ».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линч, К. Образ города / Кевин Линч ; пер. с англ. Д. Беглярова, И. Кушнareвой. – Москва : Strelka Press, 2021. – 222 с.
2. Абрамович, Н. А. Визуальная коммуникация города Витебска / Н. А. Абрамович, Н. И. Тарабуко // *Материалы и технологии*. – 2023. – № 2 (12). – С. 22–27. – DOI: 10.24412/2617-149X-2023-2-22-27.
3. Briant, S., Cushing, D., Washington, T., Swart, M. Small but Significant: A Review of Research on the Potential of Bus Shelters as Resilient Infrastructure / S. Briant, D. Cushing, T. Washington, M. Swart // *Applied Sciences*. – 2025, – 15(12). – P. 6724. – DOI: 10.3390/app15126724.
4. Тарабуко, Н. И., Визуальная коммуникация образа города Витебска / Н. И. Тарабуко, Н. А. Абрамович // *Наука. Технологии. Инновации. Материалы Международного фестиваля креативных индустрий*, Челябинск, 18–20 апреля 2023 года. – Челябинск: Международным институт дизайна и сервиса. – 2023. – С. 220–223.
5. Абрамович, Н. А. Графический язык в дизайне / Н. А. Абрамович, Д. А. Столбанова // 55-я Международная научно-техническая конференция преподавателей и студентов: тезисы докладов, Витебск, 27 апреля 2022 г. – Витебск : Витебский государственный технологический университет. – Т. 2. – С. 171–172.
6. Попова, А. В. Анализ видов наружной рекламы как объектов организации архитектурного пространства города / А. В. Попова // *Архитектурно-строительный комплекс. Проблемы, перспективы, инновации*. Сб. статей IV Междунар. науч. конф. Редколлегия: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. Новополюцк, 2022. – С. 39–45. <https://elib.psu.by/handle/123456789/36203>.
7. Самутина, Н.Н. Анализ форм визуальных

коммуникаций общественной среды малых городов / Н. Н. Самутина, П. В. Танона // Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации. Сб. статей IV Междунар. науч. конф. Редколлегия: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. Новополоцк, 2022. С. 46-49. <https://elib.psu.by/handle/123456789/36204>.

8. Войтович, В. С. Дизайн-проект социального пространства / В. С. Войтович, Н. Н. Самутина // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в текстильной и легкой промышленности», Витебск, ВГТУ, 13–14 ноября. / – Витебск: УО «ВГТУ». – 2019. – С. 101–104.

9. Кулененок, В. В. Коммуникативный дизайн и дизайн среды: общие подходы и принципы в создании гармоничной предметно-пространственной среды / В. В. Кулененок // *Искусство и культура*. – 2024. – № 1(53). – С. 76–80. <https://rep.vsu.by/handle/123456789/42483>.

10. Ленсу, Я. Ю. Предметное формообразова-

ние и общество / Я. Ю. Ленсу // *Искусство и культура*. – 2024. – № 2(54). – С. 5–10. <https://rep.vsu.by/handle/123456789/43640>

11. Padrón Nápoles, V.M. Smart Bus Stops as Interconnected Public Spaces for Increasing Social Inclusiveness and Quality of Life of Elder Users / V.M. Padrón Nápoles, D. Gachet Páez, J. L. Esteban Penelas et al // *Smart Cities*. – 2020. – №3(2). – P. 430–443. – DOI: 10.3390/SMARTCITIES3020023.

12. Ху, В. Дизайн-проект остановочного павильона городского общественного транспорта / В. Ху, Н. Н. Самутина // Современное состояние и перспективы развития науки и техники в эпоху четвертой промышленной революции : материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 102-й годовщине со дня рождения Общенационального Лидера Гейдара Алиева, Гянджа, 06-07 мая 2025 г. : в 4 ч. / Азербайджанский технологический университет. – Гянджа, 2025. – Ч. 2. – С. 235–238. <https://rep.vstu.by/handle/123456789/20740>.

## REFERENCES

1. Linch K. *Образ города = The image of the city*. Moscow: Strelka Press; 2021: 222 (In Russ.).

2. Abramovich NA, Tarabuko NI. Visual communication of Vitebsk city. *Materialy i tekhnologii = Materials and Technologies*. 2023; 2(12): 22–27. – DOI: 10.24412/2617-149X-2023-2-22-27 (In Russ.).

3. Briant S, Cushing D, Washington T, Swart M. A Review of Research on the Potential of Bus Shelters as Resilient Infrastructure. *Applied Sciences*. 2025; 15(12): 6724. – DOI: 10.3390/app15126724.

4. Tarabuko NI, Abramovich NA. Visual communication of the Vitebsk city image. In: *Nauka. Tekhnologii. Innovacii. Materialy Mezhdunarodnogo festivalya kreativnyh industriy = Science. Technologies. innovation. Materials of the International Festival of Creative Industries*. , April 18–20, 2023, Chelyabinsk. Chelyabinsk : Mezhdunarodnym institut dizayna i servisa; 2023: 220–223. (In Russ.).

5. Abramovich NA, Stolbanova DA. Graphic language in design. In: *55-ya Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya prepodavateley i studentov: tezisy dokladov = 55th International Scientific and Technical Conference of Teachers and Students: Abstracts of Reports*, April 27, 2022, Vitebsk. Vitebsk: Vitebskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet; 2022; 2: 171–172. (In Russ.).

6. Popova AV. Analysis of outdoor advertising types as objects of the organization of the architectural space of the city. In: *Arhitekturno-stroitel'nyj*

*kompleks: Problemy, perspektivy, innovacii*. Sb. statej IV Mezhdunar. nauch. konf. Redkollegiya: D.N. Lazovskij (predsed.) [i dr.]. = The architectural and construction complex: Problems, prospects, innovations. Collection of articles of the IV International Scientific Conference. Editorial board: D. N. Lazovsky (chairman) [and others], Novopolotsk: PSU. 2022:39–45. <https://elib.psu.by/handle/123456789/36203>. (In Russ.).

7. Samutsina NN, Tanona PV. Analysis of forms of visual communications in the social environment of small towns. In: *Arhitekturno-stroitel'nyj kompleks: Problemy, perspektivy, innovacii*. Sb. statej IV Mezhdunar. nauch. konf. Redkollegiya: D.N. Lazovskij (predsed.) [i dr.]. = The image of the city, the architectural and construction complex: Problems, prospects, innovations. Collection of articles of the IV International Scientific Conference. Editorial board: D. N. Lazovsky (chairman) [and others], Novopolotsk: PSU. 2022:46–49. <https://elib.psu.by/handle/123456789/36204>. (In Russ.).

8. Voitovich VS, Samutsina NN. Design project of social space. In: *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Innovatsionnye tekhnologii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti» = Materials of the International Scientific and Technical Conference "Innovative Technologies in Textile and Light Industry"*, November 13–14, 2029, Vitebsk. Vitebsk: UO «VGTU»; 2019:101–104. (In Russ.).

9. Kulenenok VV. Communicative design

and environment design: general approaches and principles in creating a harmonious subject-spatial environment. *Iskusstvo i kul'tura = Art and Cultur.* 2024;1(53): 76–80. <https://rep.vsu.by/handle/123456789/42483> (In Russ.).

10. Lensu IaYu. Object form creation and the society. *Iskusstvo i kul'tura = Art and Cultur.* 2024; 2(54): 5-10. <https://rep.vsu.by/handle/123456789/43640>. (In Russ.).

11. Padrón Nápoles VM, Gachet Páez D, Esteban Penelas JL et al et al. Smart Bus Stops as Interconnected Public Spaces for Increasing Social Inclusiveness and Quality of Life of Elder Users. *Smart Cities.* 2020;3(2),430–443. – DOI: 10.3390/SMARTCITIES3020023.

12. Hu W, Samutsina NN. Design project for a public transport stop. In: *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya nauki i tekhniki v epokhu chetvertoy promyshlennoy revolyutsii : materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy 102-y godovshchine so dnya rozhdeniya Obshchenatsional'nogo Lidera Geydara Alieva = Current state and prospects for the development of science and technology in the era of the fourth industrial revolution: Proceedings of the International scientific and practical conference dedicated to the 102nd anniversary of the birthday of National Leader Heydar Aliyev, May 06–07, 2025, Ganja.* Ganja: Azerbaijan Technological University; 2025; 2: 235–238. <https://rep.vstu.by/handle/123456789/20740>. (In Russ.).

#### Сведения об авторах

##### Вэньжань Ху

Магистрант факультета дизайна учреждения образования «Витебский государственный технологический университет»

*E-mail: samusiya2013@gmail.com*

ORCID: -

##### Самутина Наталья Николаевна

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

*E-mail: samusiya@mail.ru*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6674-9485>

#### Information about the authors

##### Wenran Hu

Master's student Faculty of Design, Vitebsk State Technological University

*E-mail: samusiya2013@gmail.com*

ORCID: -

##### Natallia N. Samutsina

Cand. Sc. (Engineering), Assoc. Prof., associate Professor of the Department of Design and Fashion, Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: samusiya@mail.ru*

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6674-9485>

Статья поступила в редакцию 22.04.2026.

## Коллекция служких поясов «Папараць-кветка»

Г. В. Казарновская, Учреждение образования «Витебский государственный  
Д. Л. Качура технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Служкие пояса являются вершиной белорусского ткацкого искусства и значимым памятником мировой художественной культуры. На современном этапе, благодаря реализации Государственной программы возрождения технологий и традиций изготовления служких поясов, в Республике Беларусь на базе предприятия РУП «Служкие пояса» был воссоздан уникальный производственный комплекс. Сегодня предприятие успешно решает задачи по производству высокоточных реплик и художественных аналогов поясов XVIII–XIX веков, используя инновационное жаккардовое оборудование. Однако актуальной проблемой современного текстильного дизайна остается определенная стагнация в художественном развитии данной традиции. В течение последних десятилетий основные усилия были сосредоточены на копировании исторических образцов и создании сувенирной продукции. Статья посвящена художественному проектированию и реализации пояса из современной авторской коллекции «Папараць-кветка», базирующейся на оригинальном орнаментальном мотиве папоротника при сохранении канонической композиции изделия. На основе анализа исторических и технологических особенностей изготовления разработан авторский дизайн. Проект современного служкого пояса, включающий авторский эскиз, спроектированную структуру и переплетения для всех цветовых эффектов рисунка, реализован на шестичелночном ткацком станке фирмы MAGEBA с жаккардовой машиной Staubli, что позволило расширить ассортимент текстильной сувенирной продукции премиум класса с использованием национальных символов Республики Беларусь.

*Ключевые слова:* служкий пояс, художественное проектирование, жаккардовое ткачество, дизайн, технологии, производство.

## "Paparats-Kvetka" Slutsk Belt Collection

Galina V. Kazarnovskaya Educational institution "Vitebsk State Technological University",  
Daniil L. Kachura Vitebsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Slutsk belts represent the pinnacle of Belarusian weaving art and serve as a significant monument of global artistic culture. At the current stage, thanks to the implementation of the State Program for the Revival of the Technologies and Traditions of Slutsk Belt Manufacturing, a unique production complex has been recreated in the Republic of Belarus at the Republican Unitary Enterprise (RUE) "Slutsk Belts." Today, the enterprise successfully produces high-precision replicas and artistic analogues of 18th- and 19th-century belts using innovative jacquard equipment. However, a persistent challenge in modern textile design remains a certain stagnation in the artistic evolution of this tradition. Over the past decades, efforts have primarily focused on duplicating historical specimens and manufacturing souvenir products. This article explores the artistic design and implementation of a belt from the contemporary original collection "Paparats-kvetka" (Fern Flower), which is based on an original ornamental fern motif while maintaining the item's canonical composition. An original design was developed through an analysis of historical and technological production characteristics. The belt project was realized using MAGEBA jacquard equipment, showcasing the potential for preserving cultural heritage within modern textile design.

*Keywords:* Slutsk belt, artistic design, jacquard weaving.

### ВВЕДЕНИЕ

Служкие пояса являются уникальным памятником мирового прикладного искусства и важнейшим символом национальной идентичности Республики

Беларусь. Современный этап возрождения данной традиции на РУП «Служкие пояса» характеризуется успешным освоением высокотехнологичного оборудования (в частности, станка фирмы «Mageba»),



на котором к настоящему моменту воссозданы 12 точных копий исторических оригиналов, а также налажен выпуск сувенирной продукции [1].

Развитие художественного потенциала слуцкого ткачества было искусственно прервано в середине XIX века. После разделов Речи Посполитой и вхождения белорусских земель в состав Российской империи ношение национального строя, элементом которого был пояс, попало под фактический запрет (особенно после восстаний 1830 и 1863 гг.), что привело к упадку мануфактур [2]. С этого времени и до сегодняшнего дня художественные решения поясов ограничивались репликацией классических образцов XVIII века; разработка принципиально новых орнаментальных композиций для поясов слуцкого типа практически не велась. Это обуславливает актуальность поиска путей ревитализации классического наследия через создание современных авторских коллекций, сохраняющих каноническую структуру, но предлагающих новое смысловое наполнение.

Исследованием технологических, исторических и композиционных особенностей слуцких поясов занимались такие ученые, как Л. И. Якунина («Слуцкие пояса», 1960), Г. В. Казарновская и Н. А. Абрамович («Реконструкция слуцких поясов на современном оборудовании: монография», 2017), а также Б. А. Лаука («Слуцкие пояса. Возрождение традиций», 2013). Несмотря на глубокую изученность исторического материала, вопросы проектирования новых авторских рисунков на основе современных мифопоэтических образов остаются недостаточно раскрытыми.

Целью работы является художественное проектирование и технологическая разработка современного слуцкого пояса из коллекции «Папараць-кветка», базирующегося на оригинальном орнаментальном мотиве папоротника при сохранении канонической структуры изделия.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведен анализ композиционных схем и орнаментальных особенностей классических слуцких поясов;
- трансформирован выбранный творческий источник (цветок папоротника) в орнаментальный мотив, адаптированный под специфику многослойного жаккардового ткачества;
- разработаны структура и переплетения для реализации пояса в материале на современном ткацком оборудовании.

Методы исследования включают историко-сравнительный анализ художественных образцов, метод морфологического проектирования текстильных форм, а также методы компьютерного моделирова-

ния жаккардовых структур в специализированном программном обеспечении (Design Scopevictor).

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Тканые пояса (кушаки) исторически являлись неотъемлемым элементом мужского костюма восточнославянских народов. В культуре Великого Княжества Литовского пояс выполнял роль важнейшего социального маркера в рамках идеологии «сарматизма». В то время как низшие сословия использовали изделия из доступных натуральных волокон (лен, конопля), аристократия отдавала предпочтение статусным аксессуарам из шелка с интеграцией драгоценных нитей.

Восточные пояса были частью костюма знати, однако высокий спрос и дороговизна импорта стимулировали местных магнатов к созданию собственных мануфактур (персиарен). Наивысшим достижением этих предприятий на белорусских землях стало производство слуцких поясов. Благодаря безупречному качеству топоним «Слуцк» стал нарицательным для обозначения всех типов длинных шелковых поясов [3, 4].

Расцвет мануфактуры связан с патронажем князя Михаила Казимира Радзивилла (Рыбоньки), который консолидировал производство, сделал Слуцк центром ткацкого искусства. В период руководства Яна Маджарского закрепилась классическая структура и составные части пояса: установилось четкое пропорциональное деление на «головы», «середник» и «кайму» (бордюр). Конструкция «голов» упростилась до двух (реже одного или трех) доминирующих орнаментальных мотивов. В то же время орнамент, под влиянием местных вкусов, наполнился мотивами белорусской флоры, а его колорит получил многоцветность и большую яркость.

Следующий этап развития связан с Леоном Маджарским, который внес значительный вклад в усложнение декоративного решения «середника». Вместо простых чередующихся полос была внедрена сложная система ритмических комплексов полос, основанная на контрасте ширин, оттенков и орнаментальных схем. В этот период классические цветочные мотивы начали сочетаться с геометрическим узором, а бахрома стала обязательным элементом художественного оформления.

Упадок производства в середине XIX века был обусловлен геополитическими изменениями – разделами Речи Посполитой и последующими административными запретами на ношение польского национального костюма, что привело к постепенному исчезновению мануфактурного ткачества такого уровня сложности [5, 6].

Возрождение уникальной технологии на государственном уровне началось в 2012 году в рамках

государственной программы «Случские пояса». Ключевым этапом реализации программы на РУП «Случские пояса» (2013 г.) стало внедрение технологии изготовления копий случских поясов на современном ткацком оборудовании фирмы MAGEBA (Германия), включающего челночный станок SL XP 540/1, техническое задание для которого разработано в УО «ВГТУ», и электронную жаккардовую машину Staubli LX 3202, что позволило программным способом воссоздать сложнейшую многослойную структуру классического пояса, создав базу для проектирования современных аналогов [1.]

Процессу создания авторской коллекции предшествовало изучение традиционной трехчастной композиции пояса, включающей «головы» (завершения), «середник» (основное поле) и окаймляющую их кайму (бордюр). Данная структура является канонической и служит фундаментом для проектирования современных художественных аналогов [6].

По характеру рисунка изделия Случкой персиарни можно поделить на четыре вида. К первому относятся односторонние пояса – в строении ткани принимают участие две системы нитей основы (настилочная или коренная и прижимная) и две системы нитей утка (грунтовые или коренные и нити «броше», которые прокладывались только в местах своего узора на внешней стороне). Ко второму виду относятся односторонние двухлицевые ткани – нити утка прокладывались не по всей ширине пояса станка, а на половине одной из его внешних сторон. Такие пояса складывались пополам по ширине во всю длину, и каждая из этих половин (на одной и той же стороне пояса) являлась лицевой. Уток «броше» использовался только на одной стороне пояса. Третий вид составляют двухсторонние ткани (могли быть трехлицевыми). В них один грунтовый уток прокладывался по всей ширине пояса, другой (двухцветный) – отдельно на каждой стороне, уток «броше» – на двух сторонах. Четвертый вид – двухсторонние четырехлицевые пояса. Для них характерно прокладывание грунтовых утков (четырёхцветных) на половинах изделия, уток «броше» – на двух сторонах [7].

Случские пояса ткались однолицевыми, двухлицевыми, трехлицевыми и четырехлицевыми (в поясе могла использоваться каждая из сторон в зависимости от колорита костюма и характера бытовой ситуации), имели по длине деление на две половины или были цельными, при подпоясывании складывались вдвое или скручивались. Композиционно пояса состояли из трех частей. На концах ткани выделялись два прямоугольной формы окончания – «головы». Их размеры варьировались в зависимости от общей длины, характера орнамента и цвета изделия: например, 23×26, 16×21, 20×28,

26,5×26 см. Каждое из таких завершений изготавливалось в виде одиночного или парных стилизованных изображений вазонов с цветами, букетов, переплетных стеблей, ростков с листьями, «расцветших» веточек дерева, различной конфигурации медальонов [7].

Разделение сторон на разные цветовые сегменты пополам дает возможность получить от двух до четырех различных визуальных вариантов в одном изделии (двухлицевые, четырехлицевые пояса).

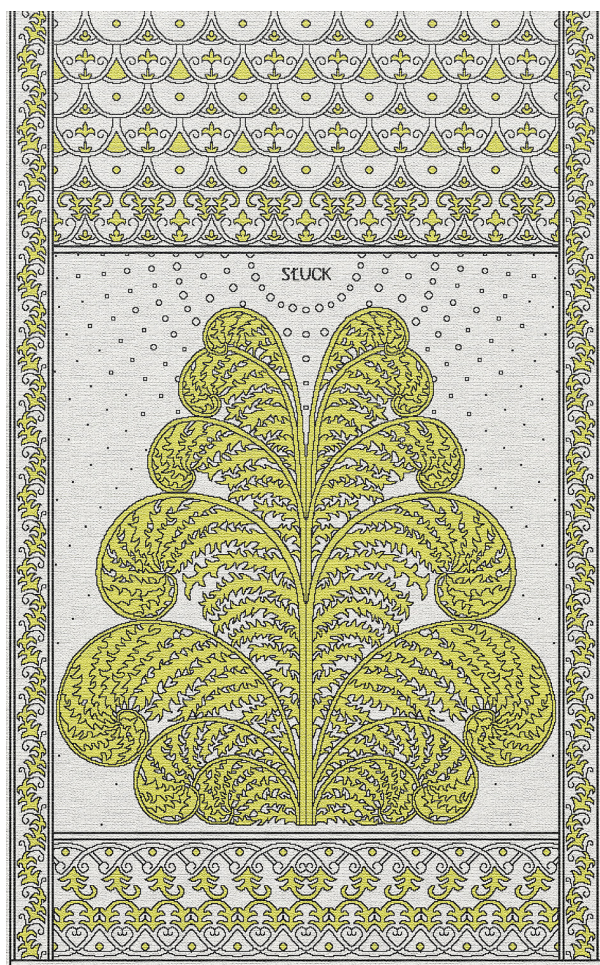
В основе проектируемой коллекции лежит новое художественное прочтение традиционного образа цветущего папоротника. Выбор данного символа обусловлен его значимостью в белорусском фольклоре как знака высшего счастья и духовного богатства.

Авторская коллекция включает 6 вариаций поясов, различающихся по сложности графического исполнения и технологическим параметрам. В коллекции представлены «головы» различных пропорций (от компактных до продольно вытянутых), а также разнообразные решения «середника» – от классических «чешуйчатых» структур и поперечных полос до экспериментальных радиальных композиций и лаконичных пустых полей с богатым орнаментированным обрамлением. Модели варьируются от четырехцветных односторонних структур до наиболее сложных – шестицветных двухсторонних четырехлицевых изделий. Использование максимально возможной палитры (6 цветов) в сочетании со сложным раппортом позволило достичь исключительной визуальной четкости и колористической насыщенности, отвечающей эстетическим требованиям к современному художественному аналогу.

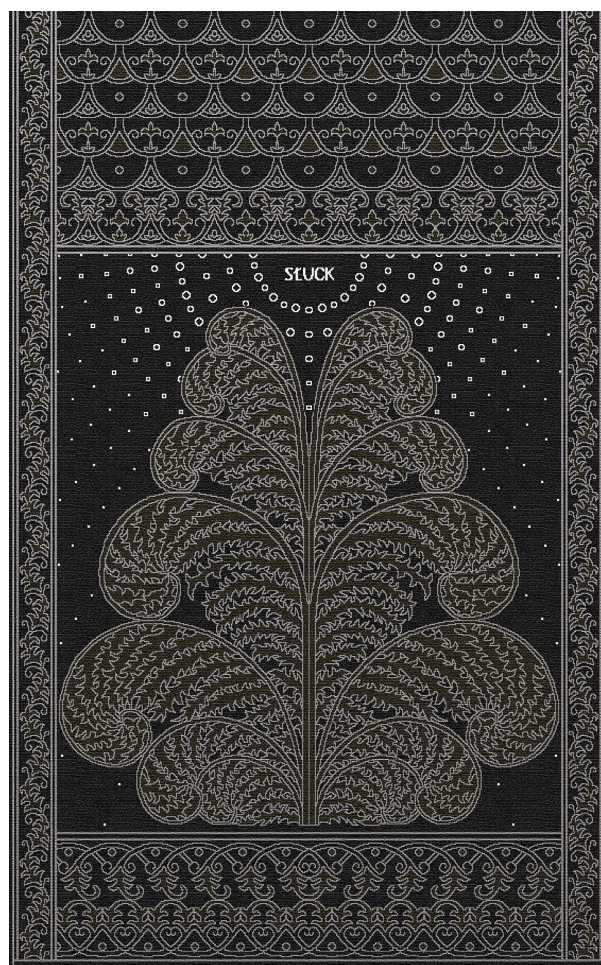
На предприятии РУП «Случские пояса» выработан один из поясов коллекции «Папараць-кветка». Пояс является двухсторонним двухлицевым: утки прокладываются по всей ширине пояса и на каждой из его внешних сторон формируется один и тот же рисунок, элементы которого отличаются друг от друга по цвету. В дизайне «головы» пояса реализована авторская стилизация: сверху над центральной осью симметричного изображения папоротника размещена надпись «SLUCK». Особенностью дизайна является использование этой надписи как центрального элемента композиции: она помещена в «сердце» цветка и дополнена радиальным «свечением». Таким образом, традиционный элемент трансформируется в центральный художественный образ (рис. 1).

Следует отметить, что использование шрифтовых композиций (меток мануфактур) является продолжением исторической традиции случкого ткачества XVIII века, где в кайме или в углу «головы» указывалось место производства или имя мастера (например, «SLUCK», «MEFECIT SLUCKAE») [8].





а (a)



б (b)

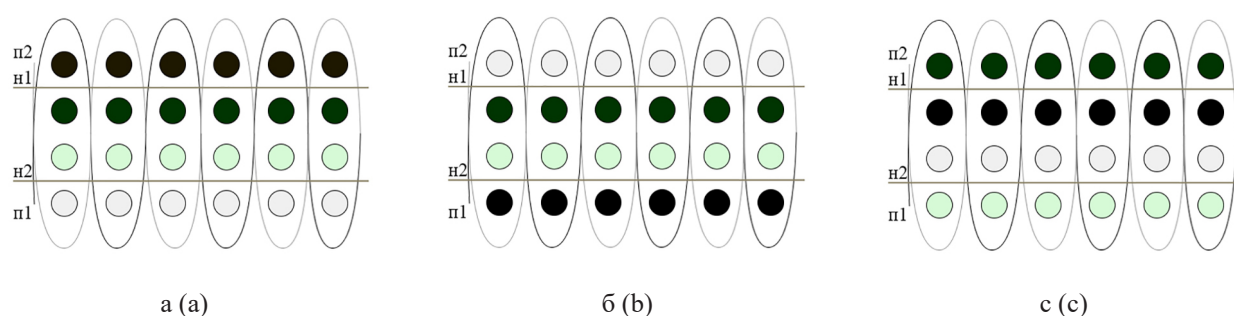
**Рисунок 1 – Эскизы головы авторского слущкого пояса:**  
а – лицо 1; б – лицо 2

**Figure 1 – Sketches of the original Slutsk belt head:**  
a – face 1; b – face 2

Структура пояса, принятого к изготовлению – четырехуточный двухсторонний гобелен, то есть в строении пояса принимают участие две системы основных нитей и четыре системы уточных. Основы делятся на настилочную (н) и прижимную (п), в качестве настилочной основы используется полиэфирная нить линейной плотностью 25 текс, в качестве прижимной основы – натуральный шелк линейной плотностью 10 текс, соотношение между основами 1:1. Из четырех систем уточных нитей того же сырьевого состава что и настилочная основа, три формируют цветовые эффекты на внешних сторонах пояса: на одной из внешних сторон – черный, белый, темно-зеленый; на другой – белый, черный, светло-зеленый [9, 10].

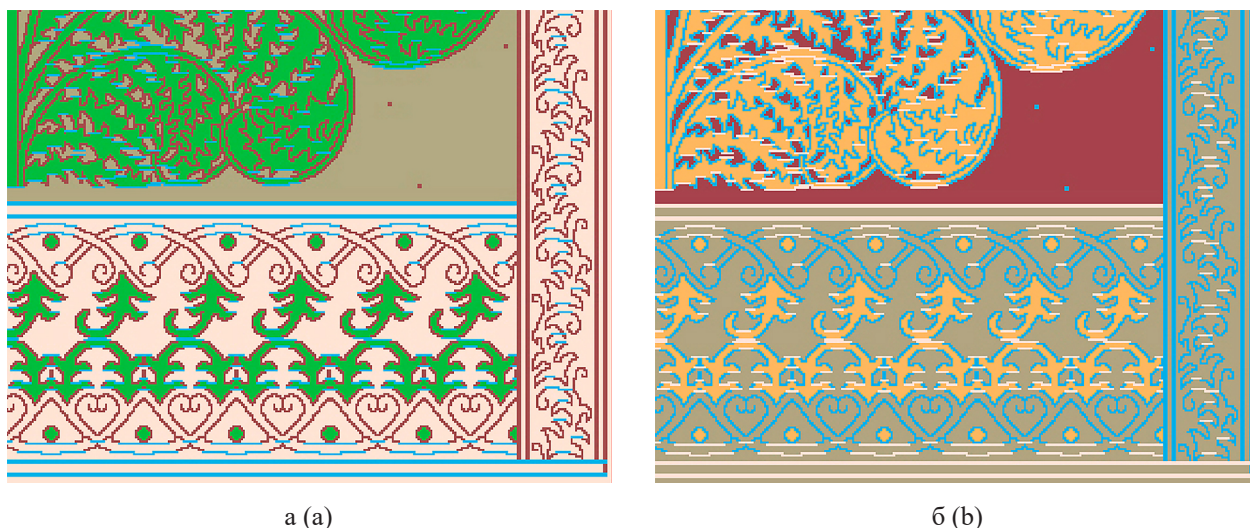
Из рисунка 2 видно, что уточные нити темно-зеленого и светло-зеленого цвета присутствуют только на одной из внешних сторон, в черном и белом эффектах они находятся в среднем слое. Анализ эскиза пояса показал, что в нем присутствуют различные по размерам элементы одного и того же цвета, кроме фона, поэтому для качественного воспроизведения рисунка для малых и крупных участков одинакового цвета спроектированы различные переплетения. Поэтому в сокращенном патроне, фрагмент которого представлен на рисунке 3, пять цветов, так как черному и белому цветовым эффектам соответствуют по два вида переплетений, в одном из которых присутствуют короткие перекрытия, в другом длинные.





**Рисунок 2 – Продольные разрезы для цветовых эффектов пояса:  
а – черного; б – белого; в – темно-зелёного**

**Figure 2 – Longitudinal cuts for color effects of the belt:  
a – black; b – white; c – dark green**



**Рисунок 3 – Фрагмент сокращённых патронов:  
а – лицо 1; б – лицо 2**

**Figure 3 – Technical drawings:  
a – face 1; b – face 2**

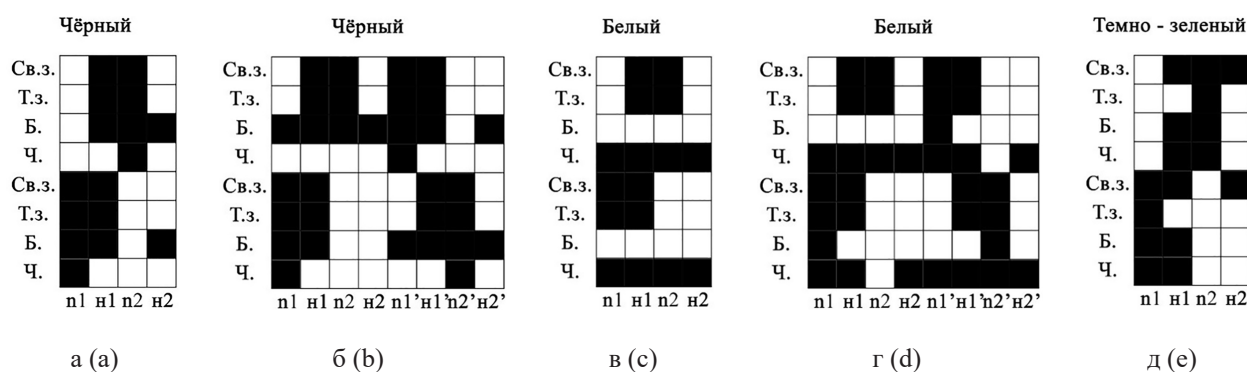
Для всех цветовых эффектов разработаны модельные переплетения, представленные на рисунке 4, причем для черного и белого цветовых эффектов – по два переплетения, одно из которых соответствует мелким элементам эскиза (рис. 4 а, 4 в), второе – фону (рис. 4 б, 4 г).

Реализовать особенности изготовления пояса стало возможным благодаря программному продукту Design Scorevictor фирмы ЕАТ (Германия), управляющему работой ткацкого станка.

Разработанный файл включает в себя цепочку последовательных функций. Первая – создание технического рисунка, определяющего ткацкие эффекты пояса (рис. 5 а). Вторая функция цепочки включает

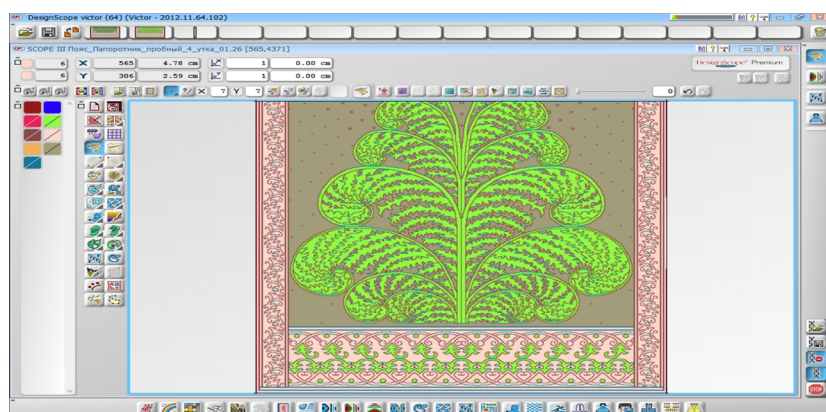
в себя программирование количества систем нитей основы и утка, работы челночных коробок, регулятора, остановов работы машины для смены цвета нитей в челночных коробках (рис. 5 б). Третья функция включает построение переплетений для всех ткацких эффектов, определенных сокращенным патроном. На базе этих данных выстраивается развернутый патрон (рис. 6 а). Четвертая функция – программирование работы платин (крючков жаккардовой машины) в соответствии с разработанной заправкой нитей основы. В файл, адаптированный для программного управления работой станка, входит программирование работы платин в соответствии с разработанной заправкой нитей основы (рис. 6 б).



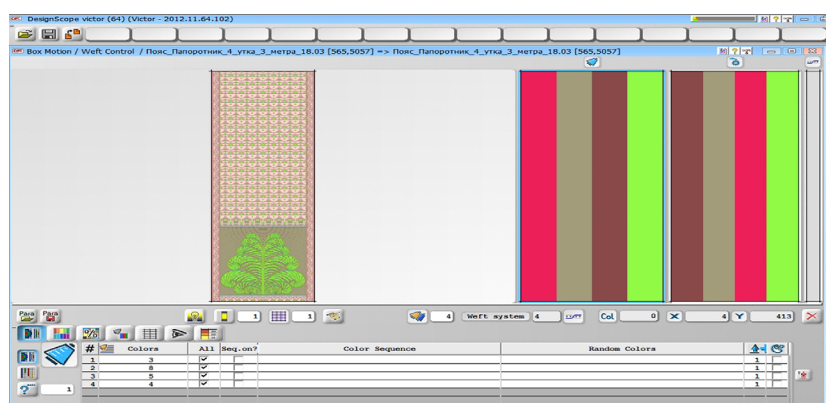


**Рисунок 4 – Модельные переплетения для цветовых эффектов пояса:**  
а – мелкие элементы черного цвета; б – фон черного цвета; в – мелкие элементы белого цвета;  
г – фон белого цвета; д – темно-зеленый

**Figure 4 – Model weaves for color effect of the belt:**  
а – fine details of black color; б – background; в – fine details of white color;  
д – background; е – dark green color effect



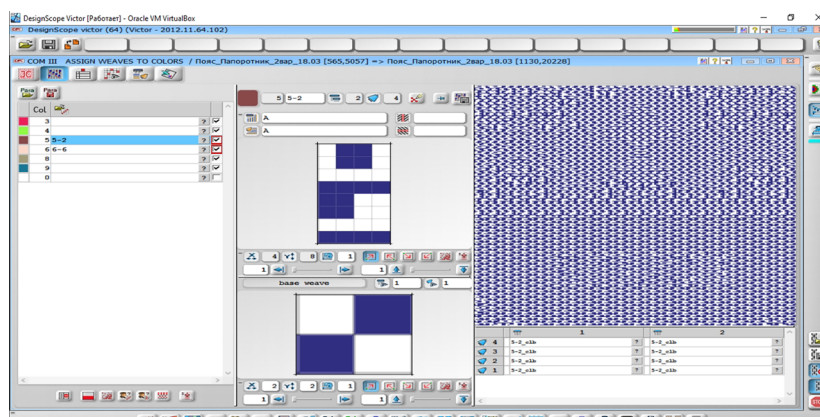
а (a)



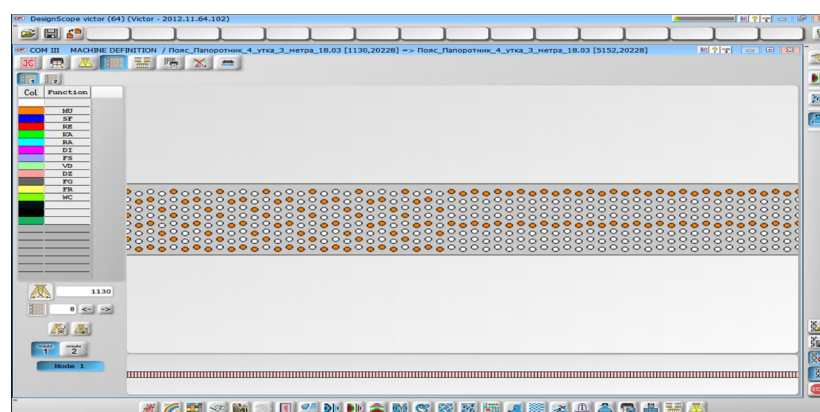
б (b)

**Рисунок 5 – Скриншоты программы:**  
а – разработка технического рисунка; б – управление работой челноков

**Figure 5 – Screenshots of the program:**  
а – development of the technical drawing ; б – shuttle operation control



a (a)



б (b)

Рисунок 6 – Скриншоты программы:

а – фрагмент развёрнутого патрона; б – фрагмент управления платинами жаккардовой машины

Figure 6 – Screenshots of the program:

a – expanded weave draft fragment; b – fragment of jacquard machine hook control

Последний этап – экспорт всех исходных данных из цепочек функций в файл управления работой станка – \*.je5 [7].

На рисунке 7 представлен случкий пояс из авторской коллекции «Папараць-кветка».

Из рисунка 7 видно, что изделие полностью соответствует авторскому эскизу (рис. 1). Разработанные переплетения и структура пояса позволили воспроизвести в ткани сложный рисунок, характеризующийся наличием мелких орнаментальных форм. Несмотря на ограниченное количество цветовых эффектов, пояс имеет высокую эстетическую выразительность и по своему восприятию не выпадает из общего контекста, присущего историческим случким поясам.

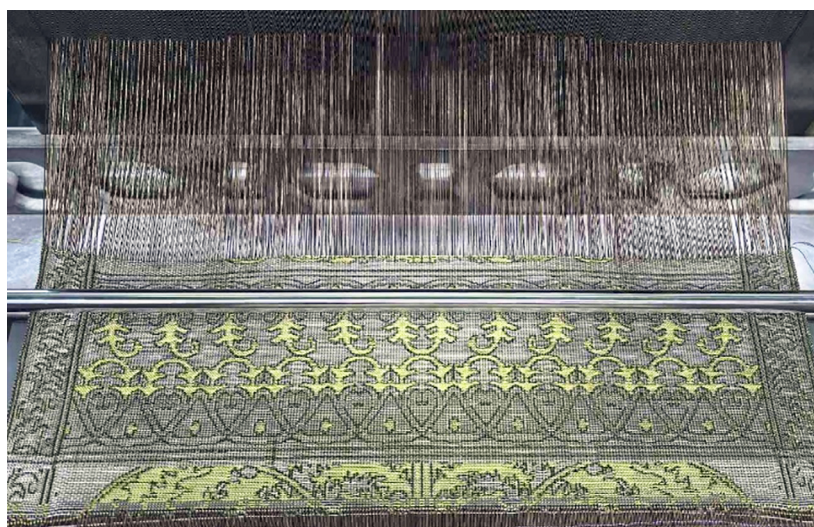
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведены исследования композиционного решения рисунков исторических случких поясов, структуры и технологии изготовления со-

временных случких поясов на ткацком оборудовании фирмы «MAGEBA» на РУП «Случкие пояса», на базе которых разработана авторская коллекция поясов с использованием образа цветущего папоротника как значимого символа в белорусском фольклоре. Для одного из эскизов спроектирована структура и переплетения, являющиеся алгоритмами для управления работой жаккардовой машины. Изготовленный пояс – это двухсторонний двухлицевой уточный гобелен, в структуре которого используется четыре вида уточных нитей, две из которых присутствуют только на одной из внешних сторон пояса.

Таким образом, рисунок характеризуется наличием только трех цветовых эффектов, что не повлияло на эстетическое восприятие изделия. Разработанный пояс принят в производство, он займет достойную нишу в ассортименте белорусской сувенирной продукции высокого класса.





а (a)



б (b)

**Рисунок 7 – Слуцкий пояс из авторской коллекции «Папараць-кветка»:  
а – выработка пояса на ткацком станке; б – готовый двухсторонний двухлицевой пояс**

**Figure 7 – Slutsk belt from the "Paparats-kvetka" original collection:  
а – production of the belt on a loom; б – finished double-sided double-faced belt**

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казарновская, Г. В. Особенности структуры слутских и лионских поясов / Г. В. Казарновская, Н. А. Абрамович // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2019. – № 1(36). – С. 30–38. – DOI: 10.24411/2079-7958-2019-13604.
2. Павлова, Т. А. Слуцкие пояса в собрании Смоленского государственного музея-заповедника. Альбом-каталог / Составитель Т. А. Павлова. – Москва : Северный паломник, 2021. – 128 с.
3. Лисейчиков, Д. В. Маджарские: армянский род в истории Беларуси / Д. В. Лисейчиков, Е. С. Глинский ; [при участии Г. А. Берестовского, К. И. Карлюка ; автор идеи и руководитель проекта А. В. Хечоян ; редколлегия: А. В. Хечоян (председатель) и др.] ; Департамент по архивам и делопроизводству Министерства юстиции Республики Беларусь, Национальный исторический архив Беларуси, Фонд развития и поддержки армяноведческих исследований «АНИВ». – Минск : НИАБ ; Ереван :

Фонд «АНИВ», 2023. – 487 с.

4. Романовский, Н. Т. Развитие мануфактурной промышленности в Белоруссии: вторая половина XVIII – первая половина XIX века / Н. Т. Романовский. – Минск : Издательство БГУ, 1966. – 425 с.

5. Якунина, Л. Т. Слуцкія паясы / Л. Т. Якунина. – Мінск : Вышэйшая школа, 1960. – 170 с.

6. Школьна, О. В. Великосвітські мануфактури князів Радзивіллів XVIII–XIX століть на теренах Східної Європи / О. В. Школьна. – Київ : Ліра-К, 2018. – 192 с.

7. Казарновская, Г. В. Реконструкция служских поясов на современном оборудовании : монография / Г. В. Казарновская, Н. А. Абрамович. – Витебск : УО «ВГТУ». – 2017. – 154 с.

8. Сковцова, И. Н. К вопросу о датировке служских поясов / И. Н. Сковцова // Художественная культура армянских общин на землях Речи По-

сполитой : материалы Международной научной конференции, Минск, 9–11 октября 2012 г. – Минск : Арт Дизайн, 2013. – С. 191–199.

9. Казарновская, Г. В. Технология служских поясов на современном ткацком оборудовании / Г. В. Казарновская // Художественная культура армянских общин на землях Речи Посполитой : материалы Международной научной конференции, Минск, 9–11 октября 2012 года. – Минск: Арт Дизайн, 2013. – С. 22–23. <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-slutskih-poyasov-na-sovremennom-tkatskom-oborudovanii/viewer>.

10. Казарновская, Г. В. Исследование структуры служских поясов / Г. В. Казарновская // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. – 2012. – № 23. – С. 40. [https://vestnik.vstu.by/files/2213/6325/1217/UDK\\_745.52.pdf](https://vestnik.vstu.by/files/2213/6325/1217/UDK_745.52.pdf).

## REFERENCES

1. Kazarnovskaya GV, Abramovich NA. Structural features of Slutsk and Lyon belts. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 2019;1(36):30–38. – DOI: 10.24411/2079-7958-2019-13603. (In Russ.).

2. Pavlova TA. Slutskiye poyasa v sobranii Smolensko gosudarstvennogo muzeya-zapovednika: Al'bom-katalog = Slutsk belts in the collection of the Smolensk State Museum-Reserve: Album-catalogue. Moscow: Severnyy palomnik; 2021:128. (In Russ.).

3. Liseychikov D V, Glinskiy ES. Madzharskiye: Armyanskiy rod v istorii Belarusi = The Madzharskiy Family: An Armenian Clan in the History of Belarus. Minsk: ANIV; Yerevan: Fond «ANIV»; 2023:487. (In Russ.).

4. Romanovskiy NT. Razvitie manufakturnoy promyshlennosti v Belorussii: vtoraya polovina XVIII – pervaya polovina XIX veka = Development of the manufacturing industry in Belarus: second half of the 18th – first half of the 19th century. Minsk: Izdatel'stvo BGU; 1966:425. (In Russ.).

5. Yakunina LT. Slutskiya payasy = Slutsk belts. Minsk: Vysheyschaya Shkola; 1960:170. (In Bel.).

6. Shkolna O. Velikosvits'ki manufakturi knyaziv Radzivilliv XVIII–XIX stolit' na terenakh Skhidnoi Evropi = High-society manufactories of the Radziwill princes of the 18th–19th centuries in Eastern Europe. Kyiv: Lira-K; 2018:192. (In Ukr.).

7. Kazarnovskaya GV, Abramovich NA. Rekonstruktsiya slutskikh poyasov na sovremennom

oborudovanii : monografiya = Reconstruction of Slutsk belts on modern equipment: monograph. Vitebsk: VSTU; 2017:154. (In Russ.).

8. Skvortsova IN. To the question of the dating of Slutsk belts. In: *Khudozhestvennaya kul'tura armyanskikh obshchin na zemlyakh Rechi Pospolitoi* : materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii = Artistic culture of Armenian communities on the lands of the Polish-Lithuanian Commonwealth: Proceedings of the International Scientific Conference, October 9–11, 2012, Minsk. Minsk: Art Dizayn; 2013:191–199. (In Russ.).

9. Kazarnovskaya GV. Technology of Slutsk belts on modern weaving equipment. In: *Khudozhestvennaya kul'tura armyanskikh obshchin na zemlyakh Rechi Pospolitoi* : materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii = Artistic culture of Armenian communities on the lands of the Polish-Lithuanian Commonwealth: Proceedings of the International Scientific Conference, October 9–11, 2012, Minsk. Minsk: Art Dizayn; 2013:22–23. <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-slutskih-poyasov-na-sovremennom-tkatskom-oborudovanii/viewer>. (In Russ.).

10. Kazarnovskaya GV. Research on the structure of Slutsk belts. *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta = Bulletin of Vitebsk State Technological University*. 2012;23:40. [https://vestnik.vstu.by/files/2213/6325/1217/UDK\\_745.52.pdf](https://vestnik.vstu.by/files/2213/6325/1217/UDK_745.52.pdf) (In Russ.).



### Сведения об авторах

#### **Казарновская Галина Васильевна**

Кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры дизайна и моды учреждения образования «Витебский государственный технологический университет», г. Витебск, Республика Беларусь

*E-mail: galina\_kazarnovskaya@mail.ru*

ORCID:[http:// orcid. org/0000-0002-8556-8361](http://orcid.org/0000-0002-8556-8361)

#### **Качура Даниил Леонидович**

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

*E-mail: daniil.kachura.design@gmail.com*

### Information about the authors

#### **Galina V. Kazarnovskaya**

Cand Sc. (Engineering), Assoc. Prof., Professor at the Department of Design and Fashion of the Educational Institution "Vitebsk State Technological University", Vitebsk, Republic of Belarus

*E-mail: galina\_kazarnovskaya@mail.ru*

ORCID:[http:// orcid. org/0000-0002-8556-8361](http://orcid.org/0000-0002-8556-8361)

#### **Daniil L. Kachura**

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

*E-mail: daniil.kachura.design@gmail.com*

Статья поступила в редакцию 06.05.2026.

Научное издание

## **Материалы и технологии**

Научный журнал

№ 1 (17), 2026

Дизайн обложки: *Абрамович Н. А.*

Компьютерная верстка: *Григорьева Н. В.*

Редактор: *Никифорова Р. А.*

---

Подписано в печать 19.08.2026. Гарнитура Times.

Усл. печ. листов 11,9. Уч.-изд. листов 12,1. Формат 60х90 1/8. Тираж 40 экз. Заказ № 399.

---

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.