

# АВТОМАТИЗАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ



## В проектировании и управлении

Издается с 2018 года

№ 4(26) 2024

DOI:10.30987/issn.2658-3488

### ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель издания – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Брянский государственный технический университет» (БГТУ)

Председатель редакционного совета – Сигов А.С., д-р. физ.-мат. наук, проф., академик РАН

Заместитель председателя редакционного совета – Аверченков А.В., д-р. техн. наук, доц.

Заместитель председателя редакционного совета – Федонин О.Н., д-р. техн. наук, проф.

**Бобыр М.В.**, д-р. техн. наук, проф. (Курск)  
**Бочкарев П.Ю.**, д-р. техн. наук, проф. (Саратов)  
**Еременко В.Т.**, д-р. техн. наук, проф. (Орел)  
**Ивашук О.А.**, д-р. техн. наук, проф. (Белгород)  
**Иньков Ю.М.**, д-р. техн. наук, проф. (Москва)

**Карпенко А.П.**, д-р. физ.-мат. наук, проф. (Москва)

**Квятковская И.Ю.**, д-р. техн. наук, проф. (Астрахань)

**Кравец А.Г.**, д-р. техн. наук, проф. (Волгоград)

**Курейчик В.В.**, д-р. техн. наук, проф. (Таганрог)

**Макарова Е.И.**, д-р. техн. наук, доц. (Санкт-Петербург)

**Мешеряков В.Н.**, д-р. техн. наук, проф. (Липецк)

**Михальченко С.Г.**, д-р. техн. наук, доц. (Томск)

#### Редколлегия

Главный редактор – Аверченков В.И. д-р. техн. наук, проф.

Зам. главного редактора – Захарова А.А. д-р. техн. наук, доц.

Зам. главного редактора – Пугачев А.А. д-р. техн. наук, доц.

Зам. главного редактора – Малаханов А.А. канд. техн. наук, доц.

**Никитин В.В.**, д-р. техн. наук, доц. (Санкт-Петербург)

**Носков С.И.**, д-р. техн. наук, проф. (Иркутск)

**Петрешин Д.И.**, д-р. техн. наук, доц. (Брянск)

**Подвесовский А.Г.**, канд. техн. наук, доц. (Брянск)

**Пугачев А.А.**, д-р. техн. наук, доц. (Брянск)

**Пылькин А.Н.**, д-р. техн. наук, проф. (Рязань)

**Скрыпников А.В.**, д-р. техн. наук, проф. (Воронеж)

**Федяева Г.А.**, д-р. техн. наук, доц. (Брянск)

**Феофанов А.Н.**, д-р. техн. наук, проф. (Москва)

**Хейфец М.Л.**, д-р. техн. наук, проф. (Беларусь)

**Чепчуров М.С.**, д-р. техн. наук, проф. (Белгород)

**Шептунов С.А.**, д-р. техн. наук, проф. (Москва)

**Ярушкина Н.Г.**, д-р. техн. наук, проф. (Ульяновск)

Зам. главного редактора – Подвесовский А.Г. канд. техн. наук, доц.

Адрес редакции:

241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

тел.: (4832) 56-49-90

www.aimpu.ru

E-mail: aim-pu@mail.ru

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор).

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-73192 от 02 июля 2018 года

ISSN print: 2658-3488

ISSN online: 2658-6436

Журнал распространяется по подписке:

индекс Э80855 по интернет-каталогу

"Пресса по подписке".

Статьи журнала находятся под лицензией CC BY 4.0 Creative Commons Attribution 4.0 License

Журнал включен в специализированный референтный библиографический сервис CrossRef

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук по научным специальностям: 1.2.2. – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ; 2.3.4. – Управление в организационных системах; 2.3.3. – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами; 2.3.7 – Компьютерное моделирование и автоматизация проектирования; 2.4.2. – Электротехнические комплексы и системы.

Перепечатка, все виды копирования и воспроизведения материалов, публикуемых в журнале «Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении», допускаются со ссылкой на источник информации и только с разрешения редакции.

# **AUTOMATION AND MODELING**

SCIENTIFIC TECHNICAL  
JOURNAL



## **in design and management**

Issued since 2018

№ 4(26) 2024

DOI:10.30987/issn.2658-3488

### **QUARTERLY SCIENTIFIC JOURNAL**

The founder of the publication – the Federal state budgetary educational  
institution of higher education

**«Bryansk State Technical University» (BSTU)**

*Chairman of Editorial Board – Sigov A.S., D. Phys.-Mat., Professor, Academician of RAS*

*Deputy Chairman of Editorial Board – Averchenkov A.V., D. Eng., Associate professor*

*Deputy Chairman of the editorial Board – Fedonin O.N., D. Eng., Professor*

**M.Yu. Bobyr, D. Eng., Prof., (Kursk)**

**P.Yu. Bochkaryov, D. Eng., Prof., (Saratov)**

**V.T. Yeremenko, D. Eng., Prof., (Orel)**

**O.A. Ivashchuk, D. Eng., Prof., (Belgorod)**

**Yu.M. Inkov, D. Eng., Prof., (Moscow)**

**A.P. Karpenko, D. Phys.-Mat., Prof., (Moscow)**

**I.Yu. Kvyatkovskaya, D. Eng., Prof., (Astrakhan)**

**A.G. Kravets, D. Eng., Prof., (Volgograd)**

**V.V. Kureichik, D. Eng., Prof., (Taganrog)**

**E.I. Makarova, D. Eng., Assoc. Prof.,**

*(St. Petersburg)*

**V.N. Meshcheryakov, D. Eng., Prof., (Lipetsk)**

**S.G. Mikhailchenko, D. Eng., Assoc. Prof. (Tomsk)**

**V.V. Nikitin, D. Eng., Assoc. Prof., (St. Petersburg)**

**S.Yu. Noskov, D. Eng., Prof., (Irkutsk)**

**D.I. Petreshin, D. Eng., Assoc. Prof., (Bryansk)**

**A.G. Podvesovskiy, Can. Eng., Assoc. Prof.**  
*(Bryansk)*

**A.A. Pugachev, D. Eng., Assoc. Prof., (Bryansk)**

**A.N. Pylkin, D. Eng., Prof., (Bryansk)**

**A.V. Skrypnikov, D. Eng., Prof., (Voronezh)**

**G.A. Fedyayeva, D. Eng., Assoc. Prof., (Bryansk)**

**A.N. Feofanov, D. Eng., Prof., (Moscow)**

**M.L. Kheifets, D. Eng., Prof., (Minsk, Belarus)**

**M.S. Chepchurov, D. Eng., Prof., (Belgorod)**

**S.A. Sheptunov, D. Eng., Prof., (Moscow)**

**N.G. Yarushkina, D. Eng., Prof., (Ulyanovsk)**

*Editorial board*

*Editor-in-Chief – Averchenkov V.I. D. Eng., Prof.,*

*Deputy Editor-in Chief – Zakharova A.A. D. Eng.,  
Assoc. Prof.*

*Deputy Editor-in Chief – Pugachev A.A. D. Eng.,  
Assoc. Prof.*

*Deputy Editor-in Chief – Malakhanov A.A. Can.  
Eng., Assoc. Prof.*

*Deputy Editor-in Chief – Podvesovskiy A.G. Can.  
Eng., Assoc. Prof.*

*Address of edition 7, 50 Years of October Avenue,  
Bryansk, Russia, 241035*

*Tel.: (4832) 56-49-90*

*www.aimpu.ru*

*E-mail: aim-pu@mail.ru*

The Journal is registered by the Federal  
Service for Supervision in the Sphere of Telecom,  
Information Technologies and Mass Communications  
of Russian Federation (ROSKOMNADZOR).  
Registration certificate ПИ № ФЦ77-73192 of July 2, 2018

ISSN print: 2658-3488

ISSN online: 2658-6436

The magazine is distributed by subscription:  
index **Э80855** in the online catalog "Subscription Press".

**The articles of the journal are under the CC BY 4.0 Creative Commons Attribution 4.0 License.**

**Journal is included in a specialized consultant bibliographical service CrossRef**

**Scientific topics of the journal: Automation and control of technological processes and industries; Mathematical modeling, numerical methods and software packages; Management in organizational systems; Computer modeling and design automation; Electrotechnical complexes and systems.**

Reprinting, all kinds of material copying and reproduction of materials published in the journal «Automation and modeling in design and management» is allowed only with the Editorial Board's permission and a reference to the source of information

## СОДЕРЖАНИЕ

### Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования

Адамов А.А., Головки А.С., Малаханов А.А., Васильева Ю.О., Павлов А.В. Исследование скорости удаления пирогенного  $SiO_2$  методом плазмохимического травления

Онуфриева Т.А., Задоркин С.М., Борсук Н.А. Автоматизация проектирования распределительных пунктов городских электросетей

Феофанов А.Н., Кузнецов П.М., Хорошко А.Л. Автоматизация поддержки процессов загрузки технологической системы предприятия

### Математическое и компьютерное моделирование

Краморов А.В., Соседко В.В., Янишевская А.Г., Звонов А.О. Применение компьютерного моделирования в процессе проектирования элементов конструкции мостоукладчиков

Сокова Е.В., Гришина Т.Г. Применение теории оптимальных систем в моделировании процесса разработки автоматизированной информационной системы промышленных предприятий

### Управление в организационных системах

Базылев А.В., Плющаев В.И. Экспериментальная проверка каналов связи для передачи диспетчерской информации в составе речной информационной системы

Гегер Э.В., Козлова И.Р. Методы управления медицинскими данными для повышения эффективности принятия решений

Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Иерархические уровни конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия в зависимости от этапов жизненного цикла производства

Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Запольская А.Н. Алгоритм автоматического графологического анализа почерков работников предприятия

Ягодкин А.С., Анциферова В.И., Скворцова Т.В., Рытов М.Ю., Шкаберин В.А. Последствия воздействий на искусственные спутники ядерных взрывов в космическом пространстве

### Электротехнические комплексы и системы

Коровин М.Л., Сорока Д.О., Куликов М.Ю. Разработка методики расчета индуктивности и электрической емкости токопроводящих жил силовых кабелей на номинальное напряжение до 3 кВ

## CONTENTS

### Automation and control of technological processes and production, automated design systems

Adamov A.A., Golovko A.S., Malakhanov A.A., Vasil'eva Yu.O., Pavlov A.V. Investigating the Removal Rate of Pyrogenic  $SiO_2$  by Plasma Chemical Etching

Onufrieva T.A., Zadorkin S.M., Borsuk N.A. Design Automation of Distribution Points of Urban Power Grids

Feofanov A.N., Kuznetsov P.M., Khoroshko A.L. Automation of Boot Process Support for the Enterprise's Technological System

### Mathematical and computer modeling

Kramorov A.V., Sosedko V.V., Yanishevskaya A.G., Zvonov A.O. Applying Computer Simulation in the Process of Designing Structural Elements of Bridgelayers

Sokova E.V., Grishina T.G. Applying the Optimal System Theory in Modelling the Development Process of an Automated Information System for Industrial Enterprises.

### Management in organizational systems

Bazylev A.V., Plyushchaev V.I. Experimental Testing of Communication Channels for Transmitting Dispatch Information as Part of a River Information System

Geger E.V., Kozlova I.R. Methods of Medical Data Management to Improve Decision Making Efficiency

Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Hierarchical Levels of Confidentiality of Industrial Enterprises' Information Resources Depending on Stages of the Production Life Cycle

Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Zapolskaya A.N. Algorithm for Automatic Graphological Analysis of Employees' Handwriting

Yagodkin A.S., Antsiferova V.I., Skvortsova T.V., Rytov M.Ur., Shkaberin V.A. Consequences of affecting space nuclear explosions on artificial satellites.

### Electrotechnical complexes and systems

Korovin M.L., Soroka D.O., Kulikov M.Yu. Developing a Method for Calculating the Inductance and Capacitance of Conductive Cores of Power Cables for Rated Voltage of up to 3 kV

## *Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами, системы автоматизации проектирования*

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 533.924+621.382.2/3

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-4-11

### ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ УДАЛЕНИЯ ПИРОГЕННОГО $SiO_2$ МЕТОДОМ ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОГО ТРАВЛЕНИЯ

Артем Александрович Адамов<sup>1</sup>, Алина Сергеевна Головки<sup>2</sup>,  
Алексей Алексеевич Малаханов<sup>3✉</sup>, Юлия Олеговна Васильева<sup>4</sup>,  
Алексей Викторович Павлов<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

<sup>1</sup> adamsartem@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5978-9797>

<sup>2</sup> alinagolovko@list.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7151-4942>

<sup>3</sup> malakhan@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0003-2512-8206>

<sup>4</sup> yuvasileva23@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5236-4832>

<sup>5</sup> avp-24@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5406-6193>

**Аннотация.** Исследование посвящено выявлению факторов, влияющих на скорость удаления (травления) пленок пирогенного оксида кремния ( $SiO_2$ ). В качестве внешних факторов, влияющих на скорость удаления пирогенного  $SiO_2$ , выбраны основные настраиваемые параметры процессов установки реактивно-ионного плазмохимического травления. В ходе исследования изменялись: время травления, мощность, давление в камере, доля газа в газовой смеси, поток газов при сохранении давления в камере, температура внутрикамерного столика. Проанализированы результаты каждого эксперимента и выполнены необходимые расчеты. Приведены графики, наглядно поясняющие влияние на скорость того или иного внешнего фактора или его изменение. Опытным путем определен оптимальный набор параметров реактивно-ионного плазменного травления пленок пирогенного  $SiO_2$ , который можно использовать в процессе реверс-инжиниринга кристаллов полупроводниковых приборов и структур с такими оксидами. При этом удаление пирогенной окисной пленки не влияет на целостность исследуемых полупроводниковых кристаллов или структур.

**Ключевые слова:** травление, скорость удаления, пирогенный  $SiO_2$ , давление, мощность, газы, температура, установка реактивно-ионного плазмохимического травления

**Финансирование:** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Федерального Проекта «Подготовка кадров и научного фундамента для электронной промышленности» государственной программы Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» при реализации Программы развития «Учебный дизайн-центр «Разработка, испытания и реверс-инжиниринг электронной компонентной базы» (соглашение от 05.03.2024 г. № 075-02-2024-1513) в ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет».

**Для цитирования:** Адамов А.А., Головки А.С., Малаханов А.А., Васильева Ю.О., Павлов А.В. Исследование скорости удаления пирогенного  $SiO_2$  методом плазмохимического травления // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-4-11.

Original article

Open Access Article

# INVESTIGATING THE REMOVAL RATE OF PYROGENIC $SiO_2$ BY PLASMA CHEMICAL ETCHING

Artem A. Adamov<sup>1</sup>, Alina S. Golovko<sup>2</sup>, Alexey A. Malakhanov<sup>3✉</sup>, Yulia O. Vasil'eva<sup>4</sup>, Alexey V. Pavlov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> adamsartem@gmail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-5978-9797>

<sup>2</sup> alinagolovko@list.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7151-4942>

<sup>3</sup> malakhan@yandex.ru<sup>✉</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-2512-8206>

<sup>4</sup> yuvasileva23@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5236-4832>

<sup>5</sup> avp-24@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-5406-6193>

**Abstract.** *The study is devoted to identifying factors affecting the removal rate (etching) of pyrogenic silicon oxide ( $SiO_2$ ) films. The authors select the main adjustable parameters of the reactive ion plasma-chemical etching setup as external factors affecting the removal rate of pyrogenic  $SiO_2$ . During the study, the authors change etching time, power, chamber pressure, gas proportion in the gas mixture, gas flow while maintaining the pressure in the chamber, and the temperature of the intra-chamber table. The paper analyzes the results of each experiment, makes the necessary calculations, provides with the graphs that clearly explain the effect of a particular external factor or its change on the rate. An optimal set of parameters for reactive ion plasma etching of pyrogenic  $SiO_2$  films is determined empirically, which one can use in the process of reverse engineering of semiconductor device crystals and structures with such oxides. In this case, removing the pyrogenic oxide film does not affect the integrity of the studied semiconductor crystals or structures.*

**Keywords:** etching, removal rate, pyrogenic  $SiO_2$ , pressure, power, gases, temperature, reactive ion plasma-chemical etching unit

**Funding:** The work is carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the Federal Project “Training of Personnel and Scientific Foundation for the Electronic Industry” of the state program of the Russian Federation “Scientific and Technological Development of the Russian Federation” in implementing the Development Program “Educational Design Centre of Development, Testing and Reverse Engineering of Electronic Component Base” (agreement No. 075-02-2024-1513 of 2024 March 05) at the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Bryansk State Technical University.

**For citation:** Adamov A.A., Golovko A.S., Malakhanov A.A., Vasil'eva Yu.O., Pavlov A.V. Investigating the Removal Rate of Pyrogenic  $SiO_2$  by Plasma Chemical Etching. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 4-11. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-4-11.

## Введение

Плазмохимическое травление – технология послойного удаления материала с поверхности исследуемого образца (полупроводниковой пластины или других объектов). Реактивно-ионное плазмохимическое травление основано на химическом взаимодействии материала подложки с ионами, которые поступают из плазмы (газового разряда).

Исследованию процессов травления окисных пленок и других материалов посвящено достаточно много работ как отечественных, так и зарубежных исследователей [1 – 10], включая патенты, в которых описываются конструктивные варианты установок для локального плазмохимического травления подложек, используемых в производстве БИС, СБИС [5]; травление окислов алюминия [6]; обработки длинномерных изделий [7]. В работах [8 – 10] анализируются влияние различных факторов на скорость процесса плазмохимического травления.

Травление, в том числе плазмохимическое, применяется в процессе производства и изготовления электронной компонентной базы (ЭКБ), а также в операциях реверс-инжиниринга ЭКБ. В данной работе исследование скорости удаления пирогенного окисла  $SiO_2$  проводилось на установке MD FA100E-RIE [11], предназначенной для травления диэлектриков: поликремния,  $SiO_2$  (оксида кремния),  $Si_3N_4$  (нитрида кремния), других материалов. Также эту установку можно использовать для извлечения кристалла интегральных микросхем (ИМС) из корпуса путем удаления излишков компаунда, покрывающего полупроводниковый кристалл, и для автоматизации выполнения задач по удалению диэлектрических пленок по настроенным режимам («рецептам») травления.

## Цель и задача

Целью работы является определение параметров установки ПХТ, изменение которых оказывает наибольшее влияние на скорость травления пирогенного окисла, а также подбор оптимальных режимов работы («рецептов») для травления пирогенного  $SiO_2$ .

Задача работы – получение экспериментальных зависимостей скорости травления от настраиваемых параметров установки, таких как: время травления; мощность плазмы; давление в камере, на которое влияет открытие заслонки; расход газов; состав газовой смеси; температура внутрикамерного столика.

Для решения задачи последовательно изменялся один параметр из возможных в пределах допустимых значений и отслеживался получившийся результат.

## Решение задачи и исследование

Проведение эксперимента потребовало подготовительных этапов: измерение исходной толщины пирогенного  $SiO_2$  на пластине и разделение ее на фрагменты.

Для разделения кремниевой пластины с пирогенным  $SiO_2$  на фрагменты применялся упрощенный метод скрайбирования [12], суть которого заключается в нанесении риска иглой из корунда (параллельно или перпендикулярно базовому срезу пластины) и последующем надавливании на пластину, вследствие чего она разламывается. Таким образом для проведения экспериментов в работе обеспечивается применение испытываемых образцов с идентичными исходными характеристиками.

Замеры толщины слоя окисла проводились с помощью интерферометра LEITZ MPV-SP Film Thickness Measuring System. Первоначальная толщина слоя оксида составляла 403 нм, а результатом травления является уменьшение этого параметра. Данные об изменении толщины окисла применялись в расчетах скорости травления.

В ходе эксперимента после запуска процесса травления регистрировались данные о давлении в камере. При значительных отклонениях давления от значений, рекомендованных производителем, производилась корректировка режима посредством изменения степени открытия заслонки.

В табл. 1 представлены данные о проведенных опытах: показатели заданных режимов травления и результаты замеров толщины оксида и давления в камере. Для решения задачи изменение параметров проводилось поэтапно и только по одному параметру относительно показателей стартового процесса в пределах допустимых значений для установки ПХТ. Тем самым сформированы группы экспериментов, соответствующие каждому параметру.

Параметры, изменяемые в ходе исследования:

- время выполнения процесса травления;
- мощность источника плазмы;
- степень открытия заслонки (перекрытие процессной камеры от источника плазмы);
- расход газов – соотношение доли активных газов (аргон, кислород, хладон) в объеме смеси для процесса травления;
- температура столика для образца.

В качестве стартового процесса заданы параметры в соответствии с рекомендациями производителя для установки ПХТ (эксперимент 1). Далее проведена оценка зависимости скорости травления от времени выполнения процесса: для эксперимента № 2 задан режим, аналогичный стартовому процессу, но с удвоенной длительностью. Толщина слоя уменьшилась на величину почти в два раза большую по сравнению с результатом первого эксперимента, т.е. при изменении времени травления скорость практически не изменяется. Это говорит о стабильности процесса и возможности его применения для травления диэлектрических слоев в ИМС.

## Данные экспериментов

## Experimental data

№ эксперимента	Заданный режим травления						Результат		
	Время (с)	Мощность (Вт)	Открытие заслонки (%)	Расход газа (см <sup>3</sup> )			Температура столика (°C)	Давление в камере (Pa)	Толщина слоя SiO <sub>2</sub> после травления (нм)
				Ar	O <sub>2</sub>	CF <sub>4</sub>			
1	120	150	25	25	0	150	20	8,1	286
2	240	150	25	25	0	150	20	8,1	174
3	120	100	25	25	0	150	20	8,1	325
4	120	200	25	25	0	150	20	8,1	251
5	120	250	25	25	0	150	20	8,1	222
6	120	150	15	25	0	150	20	14,1	249
7	120	150	20	25	0	150	20	12,1	262
8	120	150	30	25	0	150	20	5,1	302
9	120	150	26*	50	0	150	20	8,1	293
10	120	150	27*	75	0	150	20	8,1	297
11	120	150	29*	100	0	200	20	8,1	291
12	120	150	25	25	10	150	20	8,1	284
13	120	150	25	25	20	150	20	8,1	282
14	120	150	25	25	0	150	15	8,1	283
15	120	150	25	25	0	150	25	8,1	291
16	120	250	15	25	0	150	20	14,1	68
17	120	250	15	25	0	200	20	16,1	134
18	120	250	12	25	0	200	20	23,1	166
19	120	250	10	25	0	200	20	101,1	215
20	120	250	15	25	0	150	20	14,1	142
21	120	250	15	25	0	150	20	14,1	155
22	120	200	20	25	0	150	20	12,1	224
23	120	200	20	25	0	150	20	12,1	232
24	120	200	20	25	0	150	20	12,1	215

Скорость травления рассчитывалась из соотношения изменения толщины пленки оксида в течение процесса ко времени процесса:

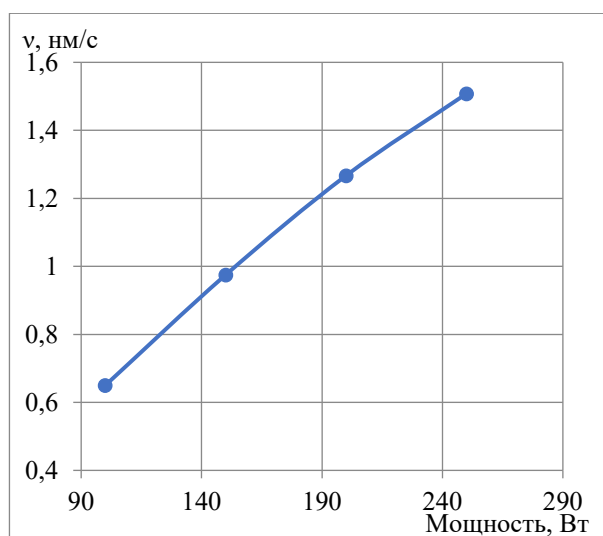
$$v = \frac{d_0 - d}{t}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость травления;  $d_0$  – исходная начальная толщина слоя оксида;  $d$  – толщина слоя оксида после травления;  $t$  – время выполнения процесса травления.

Расчет скорости травления в экспериментах 3 – 5 показывает, что при увеличении мощности источника скорость травления возрастает. График зависимости скорости травления от мощности источника представлен на рис. 1.

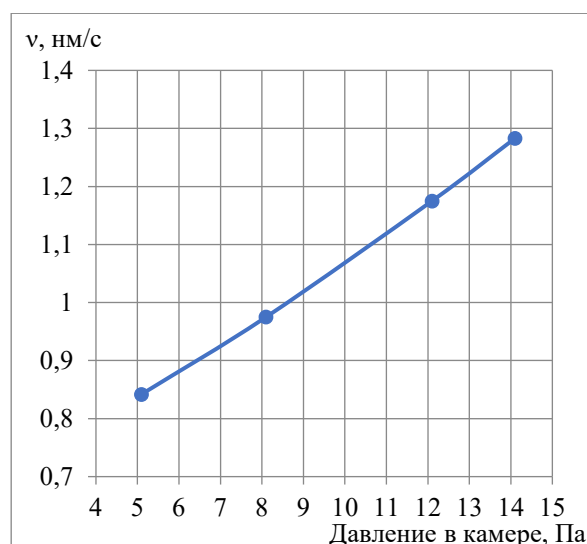
В ходе экспериментов 6 – 8 исследуемым параметром было давление в камере, которое зависело от того, насколько открыта заслонка для перекрытия процессной камеры от источника плазмы. Выявлено, что давление в камере в меньшей степени изменяет скорость травления, чем при увеличении мощности источника (рис. 2).

Следующим исследуемым параметром является расход газов. В экспериментах 9 – 13 менялось соотношение доли аргона и хладона  $[Ar:CF_4]$  в смеси. При этом в процессах 12 и 13 было исследовано изменение скорости травления при добавлении кислорода в смесь  $Ar:CF_4$ . Для чистоты эксперимента в данных опытах корректировалось значение степени открытия заслонки (установление значения давления в камере, соответствующего стартовому процессу).



**Рис. 1. Зависимость скорости травления от мощности**

*Fig. 1. Dependence of etching rate on power*

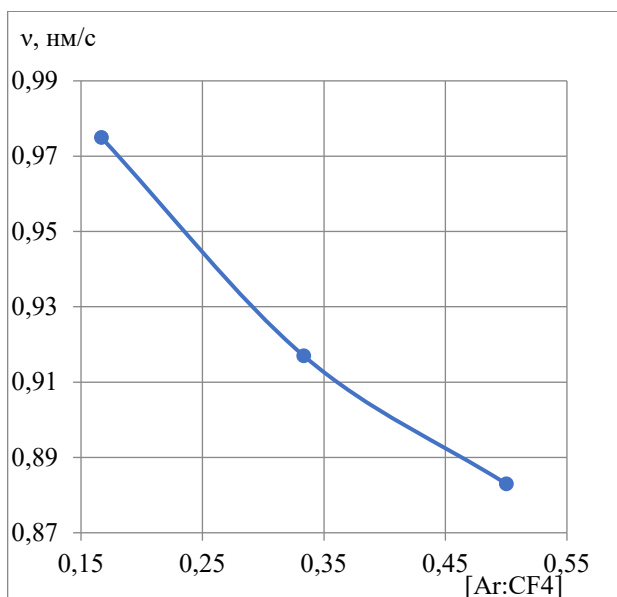


**Рис. 2. Зависимость скорости травления от давления в камере**

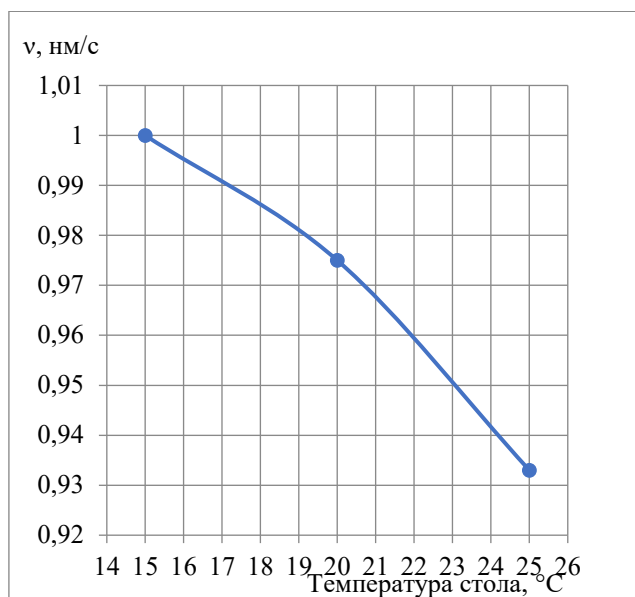
*Fig. 2. Dependence of the etching rate on the pressure in the chamber*

В результате опытов 9 – 13 выявлено, что уменьшение доли хладона относительно доли аргона в газовой смеси снижает скорость травления (рис. 3), при этом добавление кислорода в смесь  $Ar:CF_4$  оказывает иное влияние на скорость травления: по сравнению с результатом стартового процесса скорость травления возрастает, однако дальнейшее увеличение доли кислорода дает прирост скорости всего на 0,7 %.

Последним исследуемым параметром являлась температура столика для образцов. В экспериментах 14 и 15 температура столика для образцов изменялась в допустимых для установки ПХТ пределах. В результате данных опытов выявлено значительно меньшее влияние на скорость травления пирогенного окисла по сравнению с результатами предыдущих опытов (рис. 4): с изменением температуры столика в пределах допустимых значений изменение скорости травления измеряется сотыми долями нм/с, тогда как на графиках 1 – 3 заметно изменение скорости с шагом в дес ятых долях нм/с.



**Рис. 3. Зависимость скорости травления от соотношения доли аргона и хладона в смеси**  
*Fig. 3. Dependence of the etching rate on the ratio of the proportion of argon and freon in the mixture*



**Рис. 4. Зависимость скорости травления от температуры стола**  
*Fig. 4. Dependence of etching rate on table temperature*



На основе проведенных исследований выведен режим работы установки для получения наибольшей скорости травления пирогенного окисла (эксперименты № 16 и 17). Дополнительно в 18 и 19 экспериментах изменялась степень открытия заслонки.

Наибольшая скорость травления наблюдается в 16-м эксперименте. Исходя из результатов 1 – 15 процессов, предполагается, что эксперименты 17 – 19 должны обладать большей скоростью травления в сравнении с 16-м, однако наблюдается обратная тенденция. Результаты расчета скорости травления по формуле (1): в шестнадцатом процессе скорость равна 2,792 нм/с, в семнадцатом – 2,250 нм/с, в восемнадцатом эксперименте было найдено среднее значение скорости – 1,975 нм/с, в девятнадцатом – 1,475 нм/с.

Кроме того, в результате экспериментов 18 и 19 наблюдается неравномерность травления: на поверхности наблюдаются характерные цветовые переходы (рис. 5). Следовательно, применение режимов травления с характеристиками, заданными в экспериментах 18 и 19, недопустимо для процессов производства ЭКБ. Повторение шестнадцатого процесса в экспериментах 20 и 21 дает разброс значения скорости травления в среднем более 10 %, что говорит о его нестабильности. Это может быть связано либо с высокой мощностью, либо с сильным закрытием заслонки.

Для проведения экспериментов 22 – 24 задан режим с корректировкой мощности и закрытия заслонки.

Расчет скорости травления по формуле (1) показывает достаточно стабильный процесс (разброс скорости составляет не более 5 %), при этом достигается максимальная скорость травления пирогенного окисла в допустимых режимах работы установки без проявления разрушений кремниевой подложки.

В ходе работы проведено исследование влияния изменения параметров режима травления в установке ПХТ MD FA100E-RIE и определен оптимальный режим ее работы для травления пирогенного  $SiO_2$  с параметрами:

- время выполнения процесса травления 120 с;
- мощность источника плазмы 200 Вт;
- степень открытия заслонки 20 %;
- расход газов: аргон  $25 \text{ см}^3 \text{ Ar}$ , хладон  $150 \text{ см}^3$ ;
- температура столика для образца  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### Заключение

Рассмотренные в работе эксперименты направлены на исследование скорости травления пирогенного  $SiO_2$ , а именно факторов, которые оказывают на нее влияние. Исследование позволило установить, что такие параметры, как время травления, поток газов при сохранении давления в камере, добавка кислорода в смесь  $Ar:CF_4$  и изменение температуры стола практически не оказывают влияния на скорость травления.

Уменьшение доли аргона в газовой смеси  $Ar:CF_4$  снижает скорость травления.

Выявлены факторы, позволяющие существенно увеличить скорость травления: мощность источника плазмы и давление в камере.

В ходе проведения экспериментов опытным путем были определены параметры процесса, который характеризуется наибольшей скоростью травления пирогенного  $SiO_2$  и не оказывает разрушающего влияния на кремниевую подложку. Такой режим работы установки MD FA100E-RIE можно использовать при вскрытии кристаллов, у которых роль защиты играет пирогенный  $SiO_2$ .

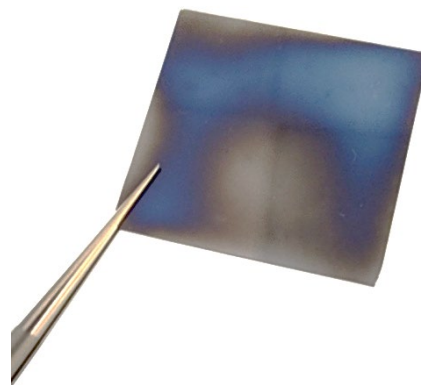


Рис. 5. Результат эксперимента №19  
*Fig. 5. Result of experiment №19*

## Список источников:

1. Зима В.Н., Кузнецов А.Н., Кузнецова С.А. Плазмохимическое травление пленок диоксида кремния // Техника радиосвязи. – 2019. – № 3(42). – С. 99-106.
2. Исследование процесса плазмохимического травления пленок  $SiO_2$  / Т.А. Исмаилов, П.Р. Захарова, Б.А. Шангереева, А.Р. Шахмаева // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2014. – № 4(35). – С. 56-62.
3. Симонов О. Использование микроволновой плазмы для удаления фоторезиста при групповой обработке полупроводниковых пластин // Электроника: Наука, технология, бизнес. – 2017. – № 2(162). – С. 180-184.
4. Золотухин Д.Б., Тюньков А.В., Юшков Ю.Г. О возможности ионного травления, инициированного электронным пучком // Взаимодействие излучений с твердым телом: Материалы 13-й Международной конференции, Минск, 30 сентября – 03 октября 2019 года / Редколлегия: В.В. Углов [и др.]. – Минск: Белорусский государственный университет, 2019. – С. 533-535.
5. Патент №2451114 Российская Федерация, МПК C23F 1/08 (2006.01) Устройство для локального плазмохимического травления подложек: № 2010127723: заявл. 05.07.2010: опубл. 20.05.2012 / Абрамов В.А., Аксенова Л.А., Климов А.В., Рубинштейн В.М., Сергиенко А.И., Цукерман А.А., Черных В.К.; заявитель Научно-исследовательский институт полупроводникового машиностроения. – 12 с.
6. Патент №17626 Российская Федерация, МПК H01J 37/32 (2006.01) Установка локального ионного травления диэлектрических поверхностей: № 2016142843: заявл. 31.10.2016: опубл. 03.0.2017 / Бурдовитин В.А., Окс Е.М., Тюньков А.В., Баджамапов З.А.; заявитель Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники. – 9 с.
7. Патент №76918 Российская Федерация, МПК C23C 14/00 (2006.01) Вакуумная ионно-плазменная установка: № 2008117861: заявл. 04.05.2008: опубл. 10.10.2008 / Смыслов А.М., Смылова М.К., Дыбленко Ю.М., Мингажев А.Д., Годовская Г.В., Исанбердин А.Н., Дыбленко М.Ю.; заявитель Научно-производственное предприятие «Уралавиаспестехнология». – 28 с.
8. Волков А.В., Казанский Н.Л., Колпаков В.А. Расчет скорости плазмохимического травления кварца // Компьютерная оптика. – 2001. – № 21. – С. 121-125.
9. Костин И.Ю. Зависимость скорости травления плазмохимического нитрида кремния от параметров осаждения диэлектрических пленок // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – № 3-2. – С. 120-123.
10. Шаныгин В.Я., Яфаров Р.К. Влияние энергии ионов на скорость и качество СВЧ плазмохимического травления пластин кремния // Нелинейный мир. – 2009. – Т. 7, № 3. – С. 218-220.
11. Реактивное ионное травление URL: <http://www.sanhelion.xyz/products/17810804.html> (дата обращения: 20.09.2024 г.)

## References:

1. Zima V.N., Kuznetsov A.N., Kuznetsova S.A. Plasma-Chemical Etching of Silicon Dioxide Films. Radio Communication Technology. 2019;3(42): 99-106.
2. Ismailov T.A., Zakharova P.R., Shangereeva B.A., Shakhmaeva A.R. Research Process Plasma Etching  $SiO_2$  Membrane. Herald of Dagestan State Technical University. Technical Sciences. 2014;4(35):56-62.
3. Simonov O. The Use of Microwave Plasma to Remove Photoresist During Group Processing of Semiconductor Wafers. Electronics: Science, Technology, Business. 2017;2(162):180-184.
4. Zolotukhin D.B., Tyunkov A.V., Yushkov Yu.G. On the Possibility of Ion Etching Initiated by an Electron Beam. In: Uglov V.V., et al, editors. Proceedings of the 13th International Conference on Interaction of Radiation With a Solid Body; 2019 Sep 30 – Oct 03; Minsk: Belarusian State University: 2019. p. 533-535.
5. Abramov V.A., Aksenova L.A., Klimov A.V., Rubinstein V.M., Sergienko A.I., et al. Device for Local Plasma-Chemical Etching of Substrates. Patent RF, no. 2451114. Research Institute of Semiconductor Engineering; 2012.
6. Burdovitsin V.A., Oks E.M., Tyunkov A.V., Bajamapov Z.A. Installation for Local Ion Etching of Dielectric Surfaces. Patent RF, no. 17626. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics; 2017.
7. Smyslov A.M., Smyslova M.K., Dyblenko Yu.M., Mingazhev A.D., Godovskaya G.V., et al. Vacuum Ion-Plasma Installation. Patent RF, no. 76918. Research and Production Enterprise Uralaviaspetchnologiya; 2008.
8. Volkov A.V., Kazansky N.L., Kolpakov V.A. Calculation of the Rate of Plasma-Chemical Etching of Quartz. Computer Optics. 2001;21:121-125.
9. Kostin I.Yu. Dependence of the Etching Rate of Plasma-Chemical Silicon Nitride on the Parameters of the Dielectric Film Deposition. Modern Trends in the Development of Science and Technology. 2016; 3-2:120-123.
10. Shanygin V.Ya., Yafarov R.K. Influence of Ion Energy on the Speed and Quality of Microwave Plasma-Chemical Etching of Silicon Wafers. Nonlinear World. 2009;7(3):218-220.
11. Reactive Ion Etching [Internet] [cited 2024 Sep 20]. Available from: <http://www.sanhelion.xyz/products/17810804.html>

12. Гурова Ю.В. Разделение кристаллических пластин методом скрайбирования // International scientific review of the technical sciences, mathematics and Computer science : Collection of scientific articles. XI international correspondence scientific specialized conference, Boston, 10–11 июня 2019 года / Editor: Emma Morgan. – Boston: Problems of science, 2019. – С. 20-33.

12. Gurova Yu.V. Separation of Crystalline Plates by Scribing. In: Morgan E, editor. Proceedings of the 21st International Correspondence Scientific Specialized Conference on International Scientific Review of the Technical Sciences, Mathematics and Computer Science; 2019 Jun 10-11; Boston: Problems of Science: 2019. p. 20-33.

### **Информация об авторах:**

#### **Адамов Артем Александрович**

инженер учебного дизайн-центра «Разработка, испытания и реверс инжиниринг электронной компонентной базы», студент-магистрант Брянского государственного технического университета

#### **Головко Алина Сергеевна**

стажер учебного дизайн-центра «Разработка, испытания и реверс инжиниринг электронной компонентной базы», студент Брянского государственного технического университета

#### **Малаханов Алексей Алексеевич**

кандидат технических наук, доцент, руководитель учебного дизайн-центра «Разработка, испытания и реверс-инжиниринг электронной компонентной базы», заведующий кафедрой «Электронные, радиоэлектронные и электротехнические системы» Брянского государственного технического университета

#### **Васильева Юлия Олеговна**

ведущий инженер учебного дизайн-центра «Разработка, испытания и реверс инжиниринг электронной компонентной базы»

#### **Павлов Алексей Викторович**

инженер 2 категории сектора экспериментальных и теоретических исследований научно-образовательного дизайн-центра «Силовая электроника и интегральные технологии»

### **Information about the authors:**

#### **Adamov Artem Aleksandrovich**

Engineer of the Educational Design Centre of Development, Testing and Reverse Engineering of Electronic Component Base, Master's student of Bryansk State Technical University

#### **Golovko Alina Sergeevna**

Intern of the Educational Design Centre of Development, Testing and Reverse Engineering of Electronic Component Base, student of Bryansk State Technical University

#### **Malakhanov Alexey Alekseevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Educational Design Centre of Development, Testing and Reverse Engineering of Electronic Component Base, Head of the Department of Electronic, Radio-Electronic and Electrical Systems of Bryansk State Technical University

#### **Vasil'eva Yuliya Olegovna**

Leading engineer of the Educational Design Centre of Development, Testing and Reverse Engineering of Electronic Component Base

#### **Pavlov Alexey Viktorovich**

Engineer of the 2nd category of the Experimental and Theoretical Studies Sector of the Research and Educational Design Centre Power Electronics and Integrated Technologies

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 09.08.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024; принята к публикации 03.10.2024.**

**The article was submitted 09.08.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 03.10.2024.**

**Рецензент – Хандожко В.А. кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет**

**Reviewer – Khandozhko V.A. Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.**

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК.004.42

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ ГОРОДСКИХ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Татьяна Александровна Онуфриева<sup>1</sup>, Сергей Михайлович Задоркин<sup>2</sup>,  
Наталья Александровна Борсук<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Калуга, Россия

<sup>1</sup> onufrievata@mail.ru

<sup>2</sup> zadorkin0101@mail.ru

<sup>3</sup> borsuk65@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос разработки веб-приложения для проектирования распределительных пунктов электросетей. Данное решение позволит уменьшить затраты на производство объектов за счет их моделирования в виртуальной среде и в итоге ускорения выхода готовых продуктов на рынок. Диагностическое обслуживание объектов позволит своевременно избежать нештатных ситуаций в работе оборудования. Указаны основные функциональные особенности разработанного веб-приложения для проектирования объектов распределительных пунктов электросетей: от получения технического задания, шаблона объекта до преобразования исходных данных в цифровой вид в требуемом заказчиком формате, тестирование и выявление неточностей и ошибок в проектировании, выдачи рекомендаций по исправлению ошибок. Приведены примеры реализации результатов разработки. Предложенное решение отличается простым интуитивно понятным интерфейсом и может быть использовано и как возможность обучения персонала. Одной из дополнительных возможностей является совместное использование приложения вместе с геоинформационной системой для управления сетями электроснабжения, разработанной компанией электросетей г. Калуга.

**Ключевые слова:** распределительный пункт электросети, PDF-формат JSON-формат, веб-приложение, цифровой город

**Для цитирования:** Онуфриева Т.А., Задоркин С.М., Борсук Н.А. Автоматизация проектирования распределительных пунктов городских электросетей // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 12-20. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20.

Original article

Open Access Article

## DESIGN AUTOMATION OF DISTRIBUTION POINTS OF URBAN POWER GRIDS

Tatyana A. Onufrieva<sup>1</sup>, Sergey M. Zadorkin<sup>2</sup>, Natalia A. Borsuk<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russia

<sup>1</sup> onufrievata@mail.ru

<sup>2</sup> zadorkin0101@mail.ru

<sup>3</sup> borsuk65@yandex.ru

**Abstract.** The article considers the development of a web application for designing power distribution points. This solution will reduce the cost of producing objects by simulating them in a virtual environment and, as a result, speed up the release of finished products to the market. Diagnostic maintenance of objects will allow timely avoidance of abnormal situations in the equipment operation. The main functional features of the developed web application for designing power distribution points are indicated: from receiving technical specifications, an object template to converting the initial data into the digital form in the format required by the customer, testing and identifying inaccuracies and errors in the design, issuing recommendations for correcting errors. Examples of implementing the development results are given. The proposed solution has a simple, intuitive interface and can be applicable as an opportunity to train personnel. One of the additional features is the joint use of the application with the geographic information system for managing power supply networks, developed by the Kaluga power grid company.

**Keywords:** power distribution point, PDF format, JSON format, web application, digital city

**For citation:** Onufrieva T.A., Zadorkin S.M., Borsuk N.A. Design Automation of Distribution Points of Urban Power Grids. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 12-20. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-12-20.

## Введение

В результате активного развития информационных технологий наблюдается возрастание глобального рынка цифровых двойников. Этот тренд охватывает не только мировое сообщество, но также затрагивает и Россию.

Цифровой двойник представляет собой динамическую виртуальную реплику материального объекта, процесса, системы или окружения, обладающую внешними параметрами и характеристиками оригинала. Позволяя захватить данные и имитировать процессы, он обеспечивает возможность прогнозирования реальных выходов продукта и выявления потенциальных проблем [1, 2].

В работе представлена разработка веб-приложения, предназначенного для автоматизации проектирования распределительных пунктов электросетей, реализуемая как часть экосистемы цифрового двойника предприятия электросетей в г. Калуга.

Процесс проектирования объекта электроэнергетики носит длительный характер, исходными данными являются чертежи преимущественно на бумажных носителях. Позже стали появляться графические редакторы, которые были не предназначены или частично предназначены для проектирования схем объектов электроэнергетики [3]. Несмотря на то, что их появление и активное применение облегчило процесс проектирования, позволяя перемещать, удалять и быстро изменять внешний вид компонентов, существовал ряд недостатков, которые не позволяли приложениям быть эталонными.

– самостоятельное проектирование внешнего вида компонентов и комплектующих. Для начала работы, необходимо было настроить среду и самостоятельно создать целую библиотеку специализированных компонентов;

– отсутствие автоматизации ряда действий: автоматизация расчетов, формирование рекомендаций, автоматическое изменение внешнего вида компонента в зависимости от выбранных комплектующих.

Следует отметить отсутствие кроссплатформенности у некоторых приложений, что могло накладывать ограничения на использование ОС. В связи с этим, существует необходимость в реализации специализированного веб-приложения, меняющего подход к проектированию распределительного пункта, имеющего библиотеку готовых компонентов для облегчения проектирования и модуль самопроверки, который будет помогать инженеру с автоматизированными расчётами и выбором комплектующих.

Веб-приложение может быть интегрировано в экосистему компании, став ее модулем и работать вместе с веб-геоинформационной системой для управления сетями электроснабжения. Например, пользователь может по карте найти нужный ему распределительный пункт, нажать на иконку и перейти в модуль для дальнейшей оперативной работы с документацией, связанной с распределительным пунктом (РП).

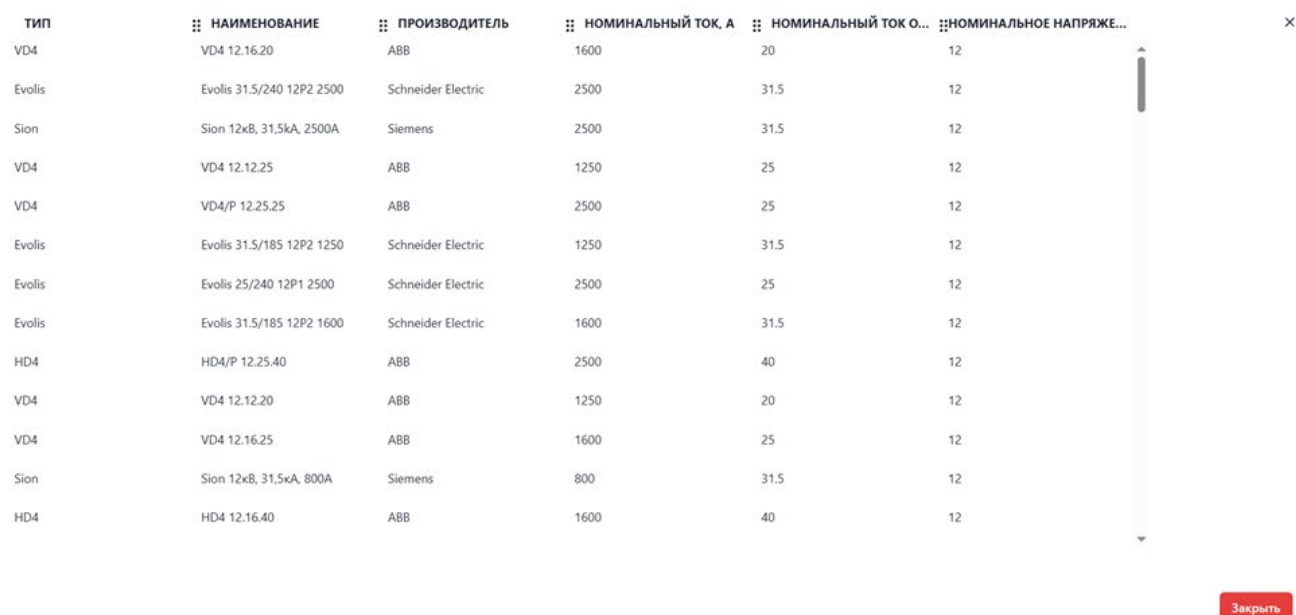
Таким образом, приложение идеально подходит для электросетевых компаний. В современном мире, где точность и эффективность играют важнейшую роль, использование программного обеспечения, способного автоматически проверять себя, представляет собой значительное преимущество. Этот аспект особенно ценен для молодых специалистов, только вступивших в профессиональную деятельность. Новички, еще только набирающиеся опыта, получают возможность оперировать инструментом, который не только помогает избежать ошибок, но и способствует их дальнейшему профессиональному росту. Программа представляет собой не просто инструмент проектирования объекта, но позволяет выполнять задачи контроля проекта, расчетов.

## Проектирование объекта

Распределительный пункт (РП) – электроустановка, предназначенная для распределения электрической энергии внутри распределительной сети, представляющая собой разделенные на секции сборные шины, определенного количества ячеек (присоединений) и коридора управления [4]. Сложность реализации ЦД РП заключается в том, что распределительных пунктов много и они имеют множество различных параметров контроля: уровни напряжения; количество ячеек; номинальный ток; ток динамической стойкости и др.

Ячейки служат для размещения в них: выключателей, трансформаторов тока, линейных, шинных и секционных разъединителей; предохранителей; трансформаторов напряжения; приборов защиты и другого электрооборудования. Каждое электрооборудование тоже имеет множество своих характеристик [5, 6].

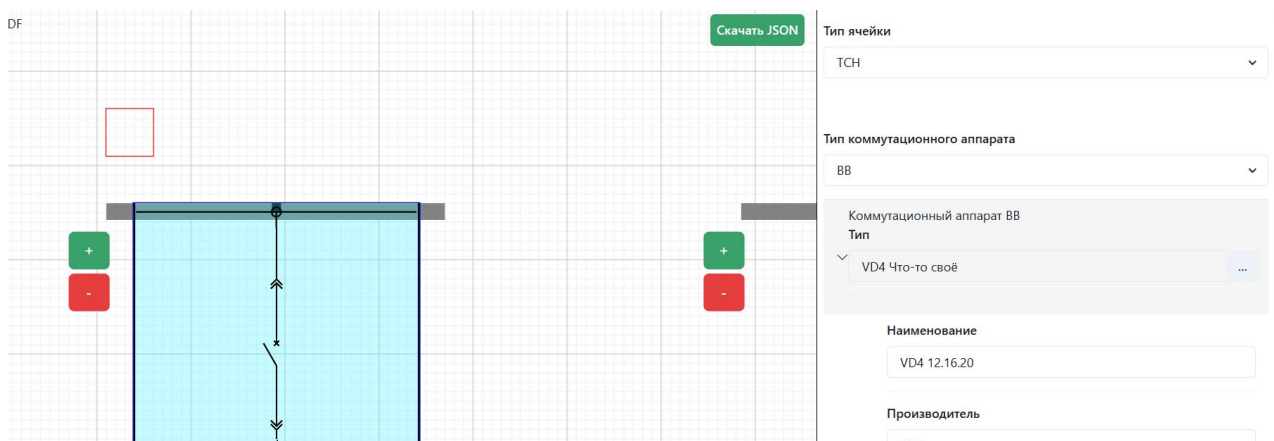
Веб-приложение предоставляет удобный функционал, позволяющий с лёгкостью проектировать ячейки (шкафы) распределительного пункта, которые прикрепляются к секциям, что в конечном итоге, позволяет собирать из готовых элементов схему распределительного пункта. Данный функционал в окружении браузера реализуется с помощью технологии *drag-n-drop*. *Drag-n-drop* представляет собой способ управления элементами пользовательского интерфейса с помощью устройства ввода, такого как мышь или сенсорный экран [6]. Перемещение ячеек и добавление их в секции осуществляется с помощью специальных событий. Помимо этого, пользователю предоставляется возможность заполнять и изменять атрибуты каждой ячейки: определить её тип, комплектное распределительное устройство 10(6) кВт и их характеристики. В приложении имеется база данных типовых решений, что значительно сокращает время проектирования, однако использование типовых решений не всегда удовлетворит проектировщика, поэтому в систему включен модуль свободного проектирования, который совместно с электронным архивом комплектующих ведущих мировых производителей позволяет быстро решить поставленную задачу. На рис. 1 приведен пример меню выбора вакуумных выключателей.



ТИП	НАИМЕНОВАНИЕ	ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК, А	НОМИНАЛЬНЫЙ ТОК О...	НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕ...
VD4	VD4 12.16.20	ABB	1600	20	12
Evolis	Evolis 31.5/240 12P2 2500	Schneider Electric	2500	31.5	12
Sion	Sion 12кВ, 31,5кА, 2500А	Siemens	2500	31.5	12
VD4	VD4 12.12.25	ABB	1250	25	12
VD4	VD4/P 12.25.25	ABB	2500	25	12
Evolis	Evolis 31.5/185 12P2 1250	Schneider Electric	1250	31.5	12
Evolis	Evolis 25/240 12P1 2500	Schneider Electric	2500	25	12
Evolis	Evolis 31.5/185 12P2 1600	Schneider Electric	1600	31.5	12
HD4	HD4/P 12.25.40	ABB	2500	40	12
VD4	VD4 12.12.20	ABB	1250	20	12
VD4	VD4 12.16.25	ABB	1600	25	12
Sion	Sion 12кВ, 31,5кА, 800А	Siemens	800	31.5	12
HD4	HD4 12.16.40	ABB	1600	40	12

Рис. 1. База данных готовых типовых решений вакуумных выключателей  
*Fig. 1. Database of ready-made standard solutions for vacuum circuit breakers*

База данных готовых типовых решений позволяет пользователю подобрать готовый существующий вариант, кликнув мышью на нужную строку. На рис. 2 представлена демонстрация работы модуля свободного проектирования.



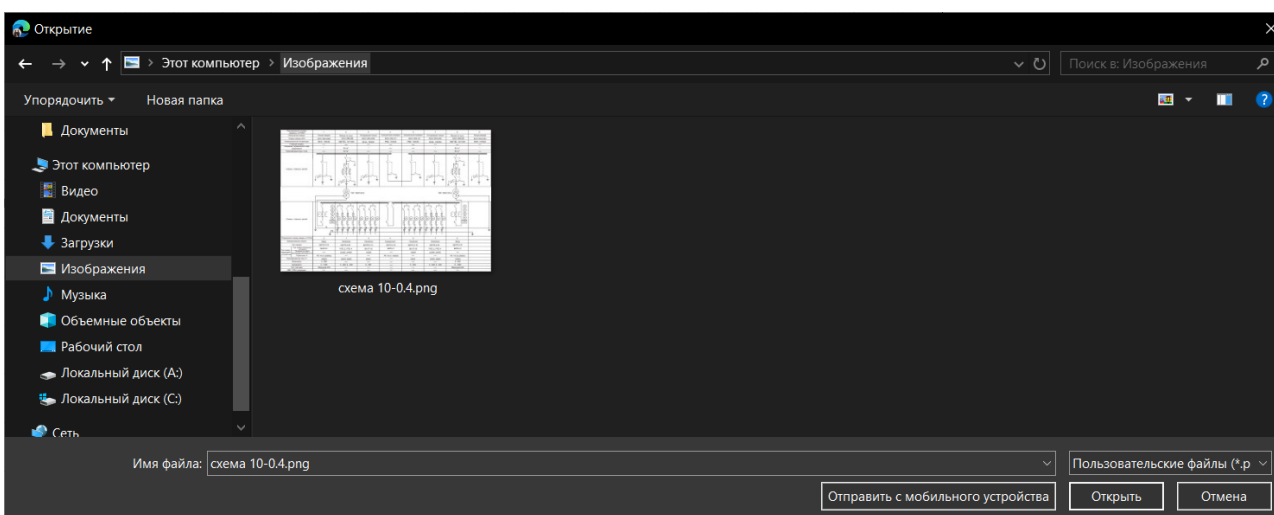
**Рис. 2. Демонстрация работы модуля свободного проектирования**  
**Fig. 2. Demonstration of the operation of the free design module**

Модуль свободного проектирования позволяет заполнять или изменять уже имеющиеся свойства, если нужного решения не нашлось в базе данных готовых типовых решений.

Также приложение позволяет производить экспорт построенной схемы в *PDF*-формат. Имеется возможность экспорта и импорта файла с настройками в *JSON*-формат. Для более комфортного процесса визуализации РП имеется возможность добавить на рабочую область приложения отсканированный чертеж в формате *jpg*, *png*, который будет использоваться в качестве шаблона. Также приложение позволяет автоматически формировать опросные листы для завода-изготовителя.

### Работа с шаблонами

Для работы с шаблонами достаточно импортировать изображение. На рис. 3, 4 представлены этапы добавления шаблона на рабочую область.



**Рис. 3. Выбор шаблона из проводника**  
**Fig. 3. Selecting a template from the Explorer**

Можно выбрать только форматы с расширением *jpg* или *png*. Импорт изображений с другими расширениями запрещен. На рис. 4 представлен результат импортирования шаблона.

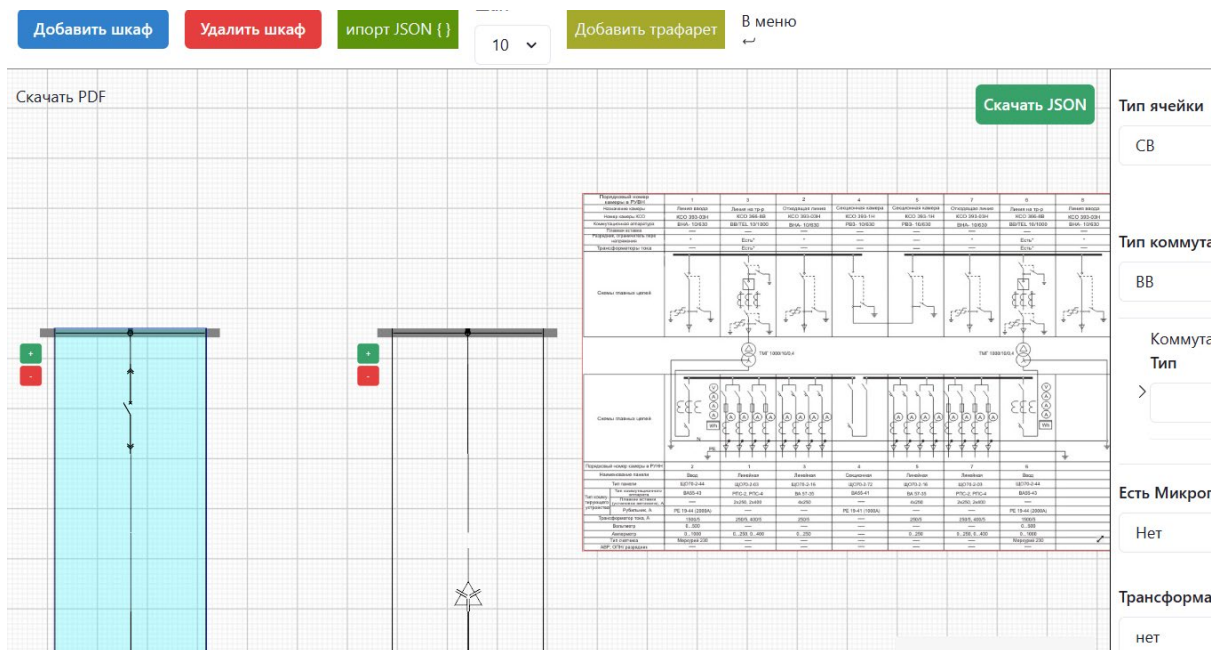


Рис. 4. Импортированный шаблон  
Fig. 4. Imported template

Данное изображение можно перемещать с помощью технологии *drag-n-drop*, а также, менять размер. Для более удобной работы может понадобиться возможность вычленения определенного куска шаблона. На рис. 5 представлен результат данной функции.

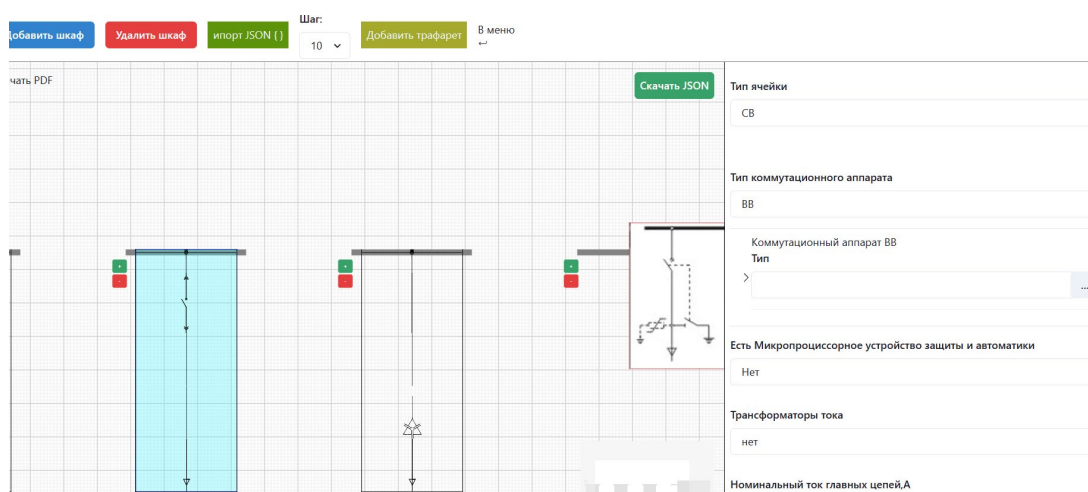


Рис. 5. Результат вычленения части шаблона  
Fig. 5. The result of isolating a part of the template

### Проверки и расчёты

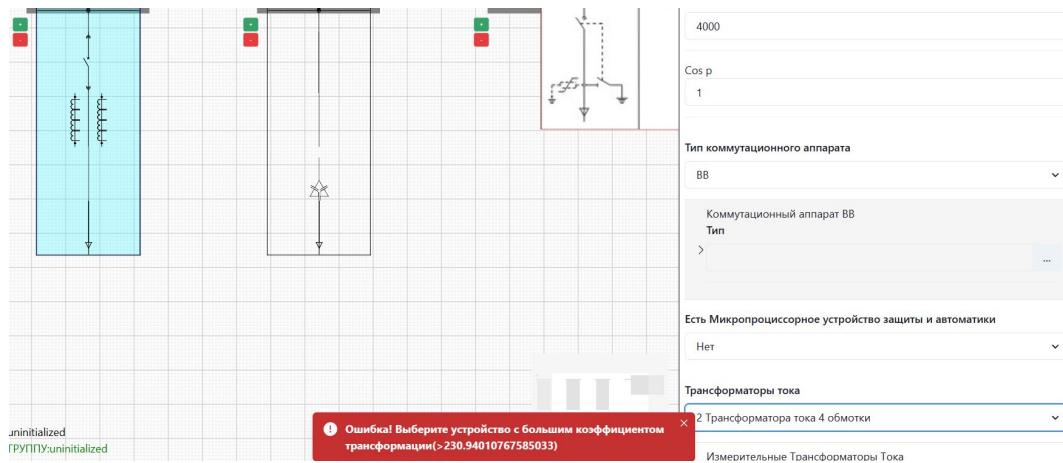
Для самопроверок и формирования рекомендаций используется несколько формул: формула для расчета первичного тока для выбора измерительного трансформатора тока:

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi} \quad (1)$$

где  $P$  – мощность, кВт;  $U$  – напряжение, В;  $I$  – ток, кА;  $\cos \varphi$  – коэффициент мощности.

На рис. 6, 7 представлена работа самопроверки, связанной с выборами измерительных трансформаторов тока.





**Рис. 6. Уведомление о несоответствии комплектующих с заданными параметрами**  
**Fig. 6. Notification of non-compliance of components with the specified parameters**

Оператор ввёл номинальное значение 4000 в поле «суммарная мощность всех электроприборов». Учитывая, что напряжение 10 кВ, коэффициент мощности  $\cos \varphi$  примем равным 1. Данное значение является идеальным и обеспечивает наиболее благоприятный режим работы системы [7]. Система самопроверок дала рекомендацию выбрать трансформаторы тока с значением первичного тока больше, чем 230,94. Проверим значения, подставив в формулу (1).

$$I = \frac{P}{U \sqrt{3} \cos \varphi} = \frac{4000}{10 \cdot \sqrt{3} \cdot 1} \approx 230,94, \text{ что верно.}$$

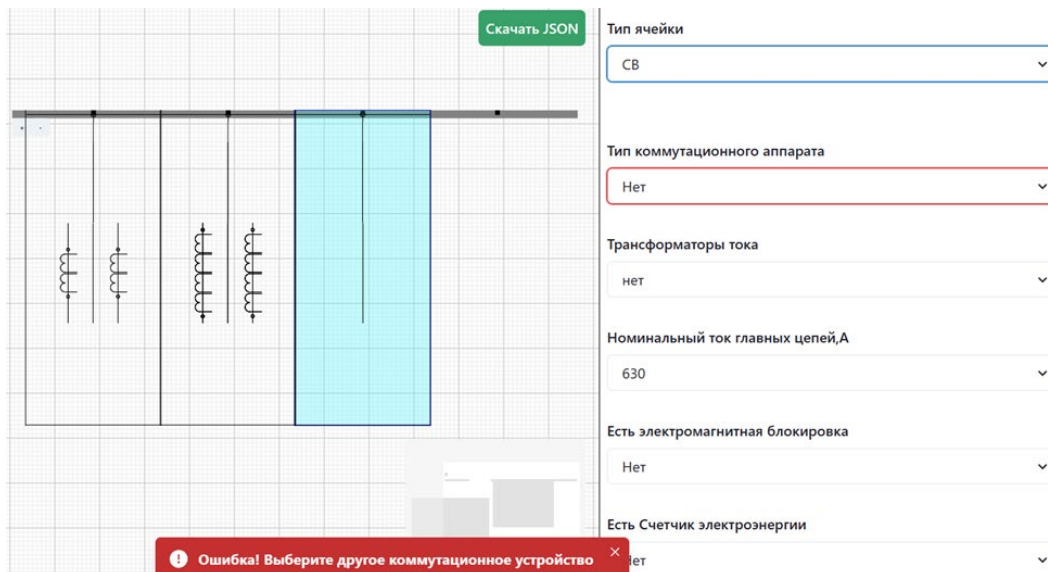
На рис. 7 представлен запрет выбора из базы данных готовых типовых решений.

ТИП	НАИМЕНОВАНИЕ	ПРОИЗВОДИТЕЛЬ	КОЭФФИЦИЕНТ ТР...	КЛАССТОЧНОСТИ	ОДНОСЕКУНДНЫЙ ...	ВИД ОБСЛУЖИВАНИЯ
ТОЛ-10	ТОЛ-10-I-6	Свердловский завод тра...	100/5	0.5S/10P	31.5	Одностороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-21А	ООО «Невский трансфо...	3000/5	0.5S/10P	20	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	15/5	0.2S/0.5/10P/10P	1.2	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-11В	ООО «Невский трансфо...	1000/5	0.5/0.5/10P/10P	40	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-11	ООО «Невский трансфо...	30/5	0.5/10P/10P	5	Двустороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-I-2	Свердловский завод тра...	750/5	0.5/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10	Свердловский завод тра...	1000/5	0.2S/0.5/10P	40	Одностороннее
ТЛО-10	ТЛО-10-M2AC	ООО «Электрощит-К»	1500/5	0.2S/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-23В	ООО «Невский трансфо...	4000/5	0.5S/0.5/10P/10P	40	Двустороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	500/5	0.2S/0.5/10P/10P	40	Одностороннее
ТОЛ-10	ТОЛ-10-IM-4	Свердловский завод тра...	150/5	0.5S/0.5/10P/10P	12.5	Двустороннее
ТОЛ-НТЗ	ТОЛ-НТЗ-10-22R	ООО «Невский трансфо...	3000/5	0.5S/0.5/10P/10P	31.5	Двустороннее

**Рис. 7. Запрет выбора определенных комплектующих из базы данных готовых типовых решений**  
**Fig. 7. Prohibition of the selection of certain components from the database of ready-made standard solutions**

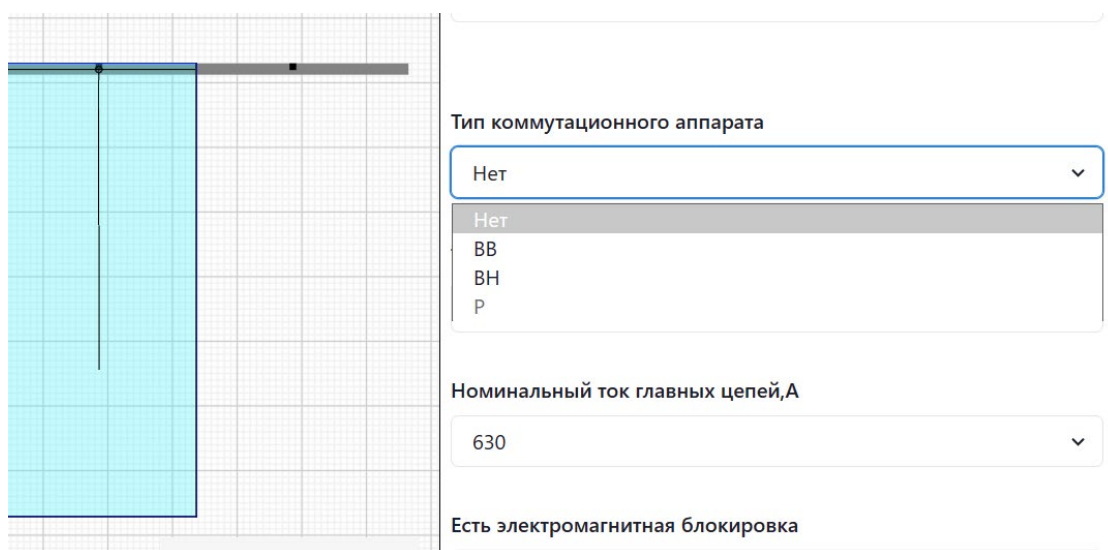
Строки, которые не рекомендуются к использованию, визуально выделены (имеют меньшую прозрачность), а также, по клику мыши по таким строкам не будет заполнения свойств.

На рис. 8, 9 представлена реализация формирования рекомендации по выбору типа коммутационного аппарата.



**Рис. 8. Ошибка, связанная с выбором типа коммутационного аппарата**  
**Fig. 8. Error related to the choice of the type of switching device**

Текущая ячейка имеет тип «СВ», что означает секционный выключатель. Коммутационный аппарат является выключателем, т.е. ячейка с типом СВ просто не может не иметь никакого выключателя. В связи с этим, формируется уведомление и обводка места ошибки красным цветом. На рис. 9 представлены правильные варианты выбора типа коммутационного аппарата.

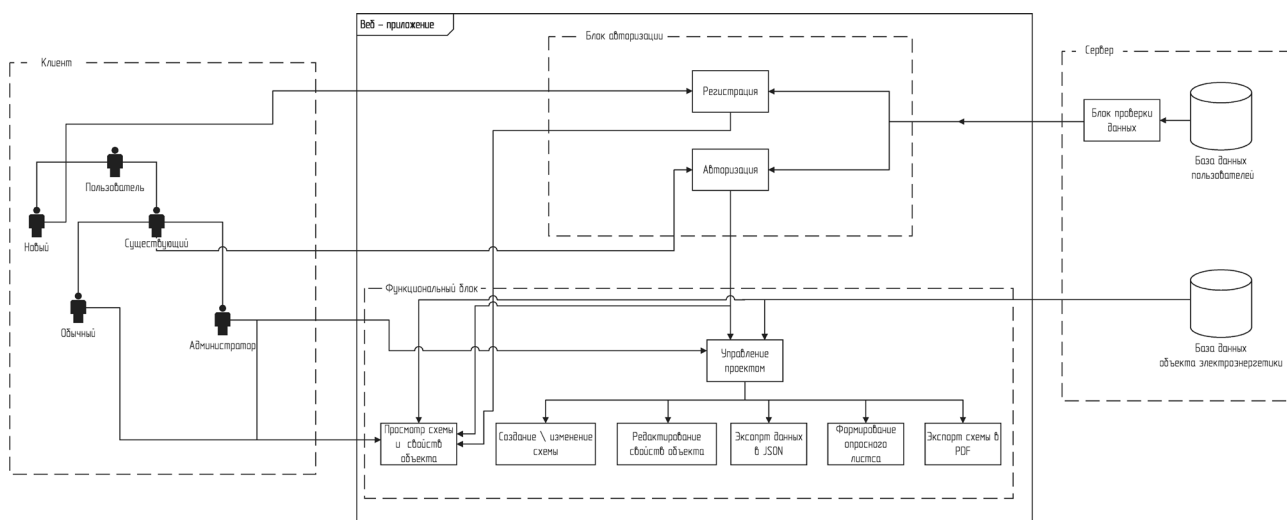


**Рис. 9. Правильные варианты выбора типа коммутационного аппарата**  
**Fig. 9. Correct options for choosing the type of switching device**

Исходя из рисунка видно, что более чёрным тоном выделены 2 пункта: ВВ (Вакуумный выключатель) и ВН (Выключатель нагрузки). Пункты «нет» и «Р» (Рубильник) не соответствуют типу данной ячейки, поэтому их нельзя выбрать, и они имеют большую прозрачность, что визуальнo подчеркивает запрет их использования системой.

### Обобщенная структура веб-приложения

Обобщенная структура приложения представлена на рис. 10.



**Рис. 10. Структура веб-приложения**  
**Fig. 10. Web application structure**

Для ввода в систему необходима авторизация. Сервер проверяет корректность введенных данных, и если все прошло успешно, то пользователь заносится в базу данных. При успешной авторизации от клиента отправляется запрос на загрузку данных, связанных с распределительным пунктом, и пользователю доступен функционал приложения, в зависимости от его роли. Например, обычный пользователь сможет только просматривать схему подстанции, а администратор, помимо просмотра схемы подстанции, сможет изменять параметры объектов, создавать новые схемы или редактировать существующие, экспортировать схему в *PDF*-формат или экспортировать данные в *JSON*, создавать опросные листы в *PDF*-формате.

Для реализации проекта использовался язык программирования *TypeScript*. Его главным преимуществом, помимо совместимости с *JS*, выступает строгая типизация данных [8]. Вместе с ним используется библиотека *React*. Она обеспечивает высокую отзывчивость веб-сайтов и веб-приложений, позволяя обновлять данные на странице без перезагрузки [9]. Это делает ее отличным выбором для создания динамических пользовательских интерфейсов.

### Перспективы развития

Так как веб-приложение напрямую зависит от подключения к интернету, следует предусмотреть обеспечение частичной офлайн работы, добавление *PWA*.

Планируется распределение функционала в зависимости от роли пользователя (оператора):

- обычный пользователь (просмотр в безопасном режиме: можно только посмотреть схему и ее характеристики. Ничего изменять и экспортировать нельзя);
- инженер производственно-технического отдела (проектирует ячейки и всю модель, характеристики. Нельзя экспортировать);
- начальник отдела производственно-технического отдела (может проектировать ячейки, может эскортировать схему в *PDF* и делать экспорт опросного листа).

### Заключение

Разработанное приложение является оптимальным решением для проектирования распределительных пунктов городских электросетей, т.к. позволяет уменьшить затраты на производство, сократить времена выхода на продукции на рынок, повысить качество подготовки персонала. Еще одним важным преимуществом является возможность диагностирования оборудования, что может заблаговременно решить многие проблемы.

Данное приложение может использоваться любыми компаниями в Российской Федерации, в которых на обслуживании присутствуют объекты соответствующего класса напряжения и функционального назначения, т.е. распределительные пункты 10(6) кВ. Такую возможность обеспечивает наличие базы данных типовых решений, так как все комплектующие соответствуют ГОСТ, либо выполняются по техническим условиям, которые должны быть утверждены заводом и управляющим органом.

#### Список источников:

1. Кокорев Д.С., Юрин А.А. Цифровые двойники: понятие, типы и преимущества для бизнеса // TECHNICAL SCIENCE. – 2019. – №10. (34).
2. Задоркин С.М., Борсук Н.А.. Преимущества цифровизации при проектировании электросетей // Экономика будущего: тренды, вызовы и возможности. – 2024. – С. 773-777.
3. Назаревич С.А. Автоматизация процессов прогнозирования развития сложных технических систем // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2019. – №1 (3).
4. Попов Н.М. Измерения в электрических сетях 0,4...10 кВ. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 228 с.
5. Вантеев А.И. Обслуживание электрических подстанций: теория и практика: уч. пособие. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 368 с.
6. Сазыкин В.Г. Технологическое проектирование систем электроснабжения и объектов электросетевого хозяйства. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 312 с.
7. Сухов К. HTML5 – путеводитель по технологии. – 2-е изд. – Москва: ДМК Пресс, 2014. – 352 с.
8. Новиков Ю.Н. Основные понятия и законы теории цепей, методы анализа процессов в цепях: учебное пособие. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 368 с.
9. Розенталс Н. Изучаем Typescript 3; перевод с английского Д.А. Беликова. – Москва: ДМК Пресс, 2019. – 608 с.
10. Леон У. Разработка веб-приложения GraphQL с React, Node.js и Neo4j; перевод с английского А. Н. Киселева. – Москва: ДМК Пресс, 2023. – 262 с.

#### Информация об авторах:

##### **Онуфриева Татьяна Александровна**

кандидат технических наук, доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

##### **Задоркин Сергей Михайлович**

студент 4-го курса, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

##### **Борсук Наталья Александровна**

кандидат технических наук, доцент, Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана.

#### References:

1. Kokorev D.S. Yurin A.A. Digital Twins: Concept, Types and Advantages for Business. Technical Science. 2019;10(34).
2. Zadorkin S.M., Borsuk N.A.. Advantages of Digitalization in Design Electrical Networks. In: Proceedings of the International Scientific Conference on the Economy of the Future: Trends, Challenges and Opportunities: 2024. p. 773-777.
3. Nazarevich S.A. Automation of Forecasting Development Processes of Complex Technical Systems. Automation and Modelling in Design and Management. 2019;1(3).
4. Popov N.M. Measurements in Power Grids 0.4 ... 10 kV. 2nd ed. Saint Petersburg: Lan; 2023.
5. Vanteev A.I. Maintenance of Electrical Substations: Theory and Practice. Moscow; Vologda: Infra-Engineering; 2021.
6. Sazykin V.G. Technological Design of Power Supply Systems and Power Grid Facilities. Saint Petersburg: Lan; 2024.
7. Sukhov K. HTML5 – a Guide to Technology. 2nd ed. Moscow: DMK Press; 2014.
8. Novikov Yu.N. Basic Concepts, Laws of Circuit Theory, Methods of Analyzing Processes in Circuits. 3rd ed. Saint Petersburg: Lan; 2022.
9. Rozentals N. Learning Typescript 3; Belikova DA, translator. Moscow: DMK Press; 2019.
10. Leon W. Developing a GraphQL Web Application With React, Node.js, and Neo4j. Kiseleva AN, translator. Moscow: DMK Press; 2023.

#### Information about the authors:

##### **Onufrieva Tatyana Alexandrovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

##### **Zadorkin Sergey Mikhailovich**

4th year student, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

##### **Borsuk Natalia Alexandrovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 24.04.2024; одобрена после рецензирования 27.09.2024; принята к публикации 22.10.2024.**

**The article was submitted 24.04.2024; approved after reviewing 27.09.2024; accepted for publication 22.10.2024.**

**Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.**

**Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.**

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 658.5

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-21-27

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ ЗАГРУЗКИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Александр Николаевич Феофанов<sup>1✉</sup>, Павел Михайлович Кузнецов<sup>2</sup>,  
Александр Леонидович Хорошко<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет «Станкин», г. Москва, Россия

<sup>2, 3</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup> feo.fanov.fan@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0003-4761-0538>

<sup>2</sup> profpol@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9237-3848>

<sup>3</sup> alexanderxop@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0008-0877-7320>

**Аннотация.** Целью исследования является процесс распределения производственных заданий между отдельными единицами технологического оборудования в технологической системе предприятия. В условиях многономенклатурного производства актуальным оказывается снижение времени на технологическую подготовку производства, которая носит достаточно частый характер. Значительное сокращение времени может быть достигнуто путем рациональной загрузки отдельных единиц технологического оборудования, т.е. за счет увеличения коэффициента его загрузки. Коэффициент загрузки технологического оборудования зависит от ряда факторов, в частности от рационального распределения производственных заданий не только по рабочим местам, но и во времени. Поиск рациональной последовательности запуска производственных заданий носит комплексный характер, включающий в себя генерацию различных сочетаний запуска отдельных производственных заданий и временной последовательности начала их выполнения. Поставленная задача решается путем разработки математической модели, позволяющей заранее спрогнозировать результат реализации множества сгенерированных вариантов. В качестве базового варианта предлагается имитационная модель технологической системы, позволяющей симулировать сгенерированные варианты и на основе сопоставления полученных результатов выбрать лучшие решения на различных этапах функционирования технологической системы. Новизной полученного решения является информационное обеспечение, позволяющее повысить степень адекватности математической модели реальному объекту. В результате проведенного моделирования были получены данные, позволяющие строить стратегию запуска производственных заданий в технологическую систему. Был получен инструмент, используя который можно при минимальных затратах ресурсов и в кратчайшие сроки выявить рациональный вариант стратегии планирования производства. Отметим, что практически во всех случаях необходим итерационный подход при работе с моделью. Степень достоверности результатов определяется глубиной прогноза. Полученный подход является полезным на этапе составления бизнес-планов машиностроительного предприятия.

**Ключевые слова:** автоматизация, технологический процесс, моделирование, симуляция, прогнозирование

**Для цитирования:** Феофанов А.Н., Кузнецов П.М., Хорошко А.Л. Автоматизация поддержки процессов загрузки технологической системы предприятия // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 21-27. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-21-27.

Original article

Open Access Article

## AUTOMATION OF BOOT PROCESS SUPPORT FOR THE ENTERPRISE'S TECHNOLOGICAL SYSTEM

Alexander N. Feofanov<sup>1✉</sup>, Pavel M. Kuznetsov<sup>2</sup>, Alexander L. Khoroshko<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Technology "Stankin", Moscow, Russia

<sup>2, 3</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

<sup>1</sup> feo.fanov.fan@yandex.ru, <http://orcid.org/0009-0003-4761-0538>

<sup>2</sup> profpol@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9237-3848>

<sup>3</sup> alexanderxop@gmail.com, <http://orcid.org/0009-0008-0877-7320>

**Abstract.** The aim of the study is the process of distributing production tasks between individual units of the processing equipment in the enterprise's technological system. In the conditions of multi-product manufacturing, it is

*important to reduce the time for its technological preparation, which is quite frequent. Rational loading of individual processing equipment can achieve a significant reduction in time, i.e. by increasing its load factor. The load factor of the processing equipment depends on a number of factors, in particular on the rational distribution of production tasks not only by workplaces, but also in time. The search for a rational sequence of starting production tasks is complex, including the generation of various combinations of starting individual production tasks and the time sequence of beginning their implementation. Developing a mathematical model solves the problem that allows predicting in advance the result of implementing a set of generated options. As a basic option, the authors propose a simulation model of a technological system, allowing imitating the generated options and, based on a comparison of the obtained results, selecting the best solutions at various stages of the technological system operation. The novelty of the obtained solution is information support, allowing increasing the adequacy degree of the mathematical model to the real object. Because of the conducted modelling, the paper obtains the data that make it possible to build a strategy for launching production tasks in the technological system. The authors get a tool, using which it is possible to identify a rational version of the production planning strategy with minimal resource costs and in the shortest possible time. The paper notes that in almost all cases an iterative approach is necessary when working with the model. The depth of the forecast determines the degree of the result reliability. The obtained approach is useful at the stage of drawing up business plans for a machine-building enterprise.*

**Keywords:** automation, technological process, modelling, simulation, forecasting

**For citation:** Feofanov A.N., Kuznetsov P.M., Khoroshko A.L. Automation of Boot Process Support for the Enterprise's Technological System. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 21-27. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-21-27.

## Введение

Современное машиностроительное производство ориентировано на мелкосерийный тип производства, что продиктовано динамичным развитием потребительского спроса. В этих условиях, с целью обеспечения конкурентоспособности, оказывается необходимым обеспечение быстрой перестройки производственной системы и, прежде всего, технологической системы на выпуск новой номенклатуры изделий. Составляющая временных затрат на технологическую подготовку становится существенной в общем объеме времени и может сыграть существенную роль в удлинении сроков начала выпуска новой продукции [1].

При технологической подготовке производства организационные мероприятия обычно сводятся к использованию предшествующего опыта, определенных наработок, типовых решений, имевших в прошлом положительный эффект и т.д. При реализации подобных подходов неизбежны ошибки, исправление которых связано с неизбежными потерями материальных и временных ресурсов. Актуальной задачей является разработка подхода, позволяющего принципиально снизить указанные потери [2].

Предлагаемый подход основан на организации виртуальной технологической системы, функционирование которой не предусматривает использование материальных ресурсов, а ее функционирование осуществляется в рамках математической модели. Основой такой модели является имитационная модель, позволяющая симулировать функционирование реальной технологической системы в машинном масштабе времени. Использование машинного масштаба времени позволяет получать результаты практически сразу, что позволяет осуществлять верификацию принимаемых решений до их реальной реализации принципиально снижая риски от последствий принятия ошибочны решений [3, 4].

## Материалы, модели, эксперименты и методы

Поставленная задача может быть решена с использованием совокупности действий, предусматривающих вариантное проектирование технологических процессов, подразумевающих получение ряда структур, степень рациональности которых определяется последующими процедурами, включающими моделирование их с последующей верификацией, с целью выбора наиболее удачных вариантов применительно к различным вариантам конфигураций технологической системы. В случаях необходимости применения творческих подходов предусматривается подключение модели эксперта, использующей опыт проектировщика непосредственно или в режиме диалога [5].

Рассматриваемая текущая конфигурация, определяет некоторый уровень загрузки технологической системы, информация о которой содержится в математической модели технологической системы, рассматриваемой, как виртуальная, причем ее параметры легко и быстро модифицируются. Виртуальность такой технологической системы обеспечивает ее исключительную гибкость при практически отсутствующих материальных затратах на ее перестройку.

Используя итерационный подход при генерации различных вариантов структур, можно добиться оперативного выбора наиболее рациональной конфигурации, которая на этом этапе реализуется в реальной материальной технологической системе, что обеспечивает сокращение времени на технологическую подготовку производства и повышение эффективности за счет:

- сокращение времени выполнения технологических процессов;
- минимизацию объемов продуктов незавершенного производства;
- выполнение производственных заданий точно в срок;
- снижение затрат на выполнение производственных заданий;
- увеличение пропускной способности технологической системы за счет повышения уровня загрузки технологического оборудования.

Удачные варианты сгенерированных технологических структур являются информационной базой, которая может быть использована для решения подобных технологических задач в дальнейшем [6]. Порождающая среда, образованная совокупностью сформированной базой удачных решений совместно с информацией о новых сгенерированных вариантах с информацией о новых производственных заданиях, рассматривается как множество сущностей  $OS$ , математическое представление которой имеет вид:

$$OS = (\{sa_i, SA_i\} | i \in N_n), \{(sb_j, SB_j) | j \in N_m,$$

где  $sa_i, SA_i$  – свойство объекта и множество его проявлений;  $sb_j, SB_j$  – информационная база данных объекта и совокупность ее элементов;  $N_n$  – множество сочетаний элементов при  $(1, 2, \dots, n)$  и  $N_m = (1, 2, \dots, m)$ ;  $m$  – количественное выражение номенклатуры изделий в технологической системе;  $n$  – количественное выражение оборудования в технологической системе.

Множественную последовательность отношений можно представить как  $D1, D2, \dots, DN$ , в этом случае  $R$  можно рассматривать, как отношение представленных множеств. Полагая, что  $R$  – множество ( $n$  кортежей) упорядоченных последовательностей вида  $\langle d1, d2, \dots, dn \rangle$ , где  $d1$  – элемент из  $D1$ ;  $d2$  – элемент из  $D2$ ; ...;  $dn$  – элемент из  $DN$ . Множества  $D1, D2, \dots, DN$  являются доменами отношения  $R$ .

Отношение  $R$  представляет собой некоторую совокупность кортежей, отражающих ряд возможных вариантов структур виртуальной технологической системы и представляется в виде реляционных баз данных.

Значения атрибутов рассчитываются на основе выбора проекции и насыщаются информационным содержанием базы данных. Полученный результат анализируется и принимается решение о степени удачности решений на основе сгенерированных структурных вариантов. Принятый рациональный вариант содержит описание технологических процессов, привязанных к конкретным единицам оборудования технологической системы, оснастки и т.д.

Для математического моделирования процессов, протекающих в технологической системе, целесообразно использовать метод имитационного моделирования на основе дискретно-событийной реализации. Модель содержит логические условия, определяющие событийный характер процессов в технологической системе. Периоды времени между событиями описываются аналитическими выражениями, характеризующими непрерывность самих технологических операций. Вариативность параметров модели обеспечивается итерационными подходами при определении последовательностей выполняемых технологических операций.

Модель порождающей среды может представлять собой табличную, сетевую, перестановочную и их сочетания. Взаимосвязь между свойствами определяется логическими функциями дизъюнкции и конъюнкции. При оценке сгенерированных вариантов осуществляется последовательный анализ с выбором лучшего по установленным критериям, например, себестоимость, сроки выполнения объем выполненных производственных заданий за рассматриваемый период и т.д. [7].

При совпадении свойств спроектированного технологического процесса и технологической системы выполняется логическая функция эквиваленция, в противном случае имеет место пересечение массивов свойств:

$$C = \{c \mid c \in A \text{ и } c \in B\},$$

где  $C$  – множество технологических операций, выполняемых при данных производственных условиях;  $A$  – свойства текущей конфигурации технологической системы;  $B$  – свойства спроектированного технологического процесса.

Структура технологического процесса при математическом моделировании представляется в виде булевой матрицы взаимосвязей, являющимися бинарными отношениями:

$$[C] = [A \times B] = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_n \\ c_{11} & c_{12} & \dots & c_{1n} \\ c_{12} & c_{22} & \dots & c_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} & c_{n2} & \dots & c_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix}.$$

При наличии взаимосвязи элементов  $a_i$  и  $b_j$  значение  $c_{ij} = 1$ , в противном случае  $c_{ij} = 0$ . В записи булевой матрицы  $\{c_{ij}\}$  подразумевается  $A$  – множество строк, а  $B$  – множество столбцов.

Используя значения компонентов матрицы, выстраиваются логические связи между массивами технологического оборудования и требующих выполнения операций технологических процессов. При получении нескольких работоспособных вариантов структур распределения технологических операций осуществляется выбор лучшего варианта. Основным критерием выбора лучшего варианта является совпадение сроков выполнения производственных заданий и их плановым завершением. При несовпадении осуществляется анализ результатов. Если сроки выполнения оказываются более ранними, осуществляется смещение сроков их запуска на более поздние сроки и соответственно корректируются сроки поставок комплектующих и т.д. Если сроки выпуска оказываются более поздними – осуществляется комплекс коррекций в сторону более ранних сроков. При невозможности получения работоспособного варианта должны рассматриваться варианты коррекции сроков с заказчиком или, в худшем случае, отказ от принятия данного задания в производство.

В ходе поиска рационального варианта, при нахождении некоторого удачного решения, которое может быть использовано в дальнейшей практике, такое решение помечается с указанием полезных свойств и вносится в базу данных удачных решений. Обычно такие решения связаны с использованием эвристических методик. Наличие подобной базы позволяет существенно ускорить процессы технологической подготовки и снизить вероятность принятия ошибочных решений.

При разработке технологических процессов изготовления одних и тех же деталей, технологические возможности конкретных единиц технологического оборудования оказывают существенное влияние на структуру формируемого технологического процесса. При ограниченных возможностях обработка поверхностей  $\Phi_{\text{пов } i}$  может выполняться последовательно на различном оборудовании, при этом математическая модель имеет вид:

$$\Phi_{\text{пов } 1} \cup \Phi_{\text{пов } 2} \cup \dots \cup \Phi_{\text{пов } i} \cup \dots \cup \Phi_{\text{пов } n} \rightarrow \Phi_{\text{д}}.$$

Если используется технологическое оборудование с широкими технологическими возможностями, то можно получать сочетания поверхностей  $\Phi_{\text{соч } i}$  и математическая модель приобретает вид:



$$\Phi_{\text{соч } 1} \cup \Phi_{\text{соч } 2} \cup \dots \cup \Phi_{\text{соч } j} \cup \dots \cup \Phi_{\text{соч } n} \rightarrow \Phi_{\text{Д}}.$$

При технологических возможностях получения поверхностей как по первому, так и по второму варианту, математическая модель приобретает вид:

$$(\Phi_{\text{пов } 1} \cup \dots \cup \Phi_{\text{пов } M}) \cup (\Phi_{\text{соч } 1} \cup \dots \cup \Phi_{\text{соч } L}) \rightarrow \Phi_{\text{Д}}.$$

Наиболее перспективным является получение всего комплекта требуемых поверхностей:

$$\Phi_{\sum_{i=1}^n \text{ элем}_i} \rightarrow \Phi_{\text{Д}}.$$

Последние достижения в области аддитивных технологий позволяют шире использовать четвертый вариант, например за счет печатанья без стержневых литевых форм со сложным геометрическим содержанием. При невозможности использования такой технологии используют традиционные, менее эффективные пути, подразумевающие членение детали на отдельные составляющие, после изготовления которых конструкция собирается в единое целое с разъемными и не разъемными соединениями.

## Результаты

При выполнении процесса моделирования функционирования технологического участка используется имитационная модель. На рис. 1 приведена визуализация работы конкретного гибкого производственного участка, состоящего из четырех станков с ЧПУ и робота их обслуживающего. В общем виде количество и состав участка варьируется в зависимости от конфигурации конкретного участка.

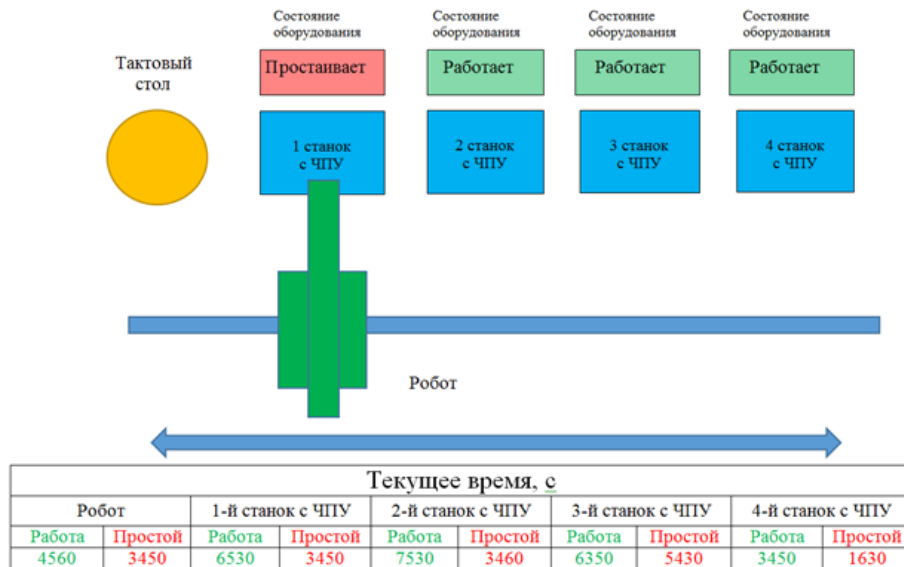


Рис. 1. Визуализация функционирования имитационной модели автоматического участка, состоящего из станков с ЧПУ, обслуживаемых промышленным роботом

Fig. 1. Visualization of the functioning of the simulation model of an automatic section consisting of CNC machines serviced by an industrial robot

Разработанные технологические процессы рассчитываются по времени выполнения каждой технологической операции. Далее технологические операции распределяются по отдельным рабочим местам и процесс моделирование запускается. Параметры технологического оборудования известны, например, скорость перемещения робота, длина перемещения от тактового стола до обслуживаемого станка, время взаимодействия робота с тактовым столом и каждым из станков. На рисунке представлены текущие величины времени работы и простоя каждой единицы технологического оборудования.

При запуске математической модели визуально можно видеть все перемещения технологических объектов. Одновременно идет отсчет текущего времени. Текущее время для

каждой единицы технологического оборудования разделяется отдельно как время работы и как время простоя.

Общее время работы участка ограничено некоторым производственным периодом, например, сменой. После завершения этого периода происходит останов работы программы и производится анализ полученных результатов. Например, если в качестве критерия выступает коэффициент загрузки каждой единицы оборудования  $K_{\text{загр}}$ , то производится расчет по формуле:

$$K_{\text{загр}} = \frac{\sum_0^T t_{\text{раб}}}{\sum_0^T t_{\text{раб}} + \sum_0^T t_{\text{пр}}},$$

где  $\sum_0^T t_{\text{раб}}$  – суммарное время работы единицы технологического оборудования за моделируемый период времени;  $\sum_0^T t_{\text{пр}}$  – суммарное время простоя единицы технологического оборудования за моделируемый период времени.

Если величина коэффициента недостаточно высокая (менее 0,6), то моделируется следующая сгенерированная последовательность. На основе проведенного моделирования выбирается либо вариант с наилучшими показателями, либо любой, показатели которого удовлетворяют заданным значениям.

Функционирование модели в машинном масштабе времени позволяет проводить все расчеты за короткие промежутки времени. Разумеется, режим визуализации в этом случае будет недоступен. Возможен комбинированный вариант, при котором статические ситуации при которых все станки работают, а робот ожидает заявки на обслуживание сокращаются за счет перехода от реального масштаба времени к машинному и наоборот, когда какой-либо станок завершает свою работу. Используя итерационный подход, добиваются наилучше варианта загрузки.

Предложенная модель программным путем легко перенастраивается на другие участки с другой конфигурацией, например с другим числом обслуживаемых станков. При этом математическое обеспечение остается инвариантным.

### Заключение

В условиях мелкосерийного производства, которому присуще быстрая сменность номенклатуры выпускаемой продукции, важное значение приобретает виртуальность технологической системы, при которой процессы апробации различных вариантов структур технологических процессов носят характер простого машинного эксперимента с затратой минимальных объемов материальных и временных ресурсов. Организация порождающей среды, в сочетании с итерационным подходом, позволяет придать процессу поиска рациональный, лучший из вариантов поведенческий характер, присущий целеустремленным системам.

Целью поиска рационального решения является нахождение такого варианта конфигурации технологического процесса, при котором обеспечивается максимальная эффективность функционирования технологической системы предприятия. Поиск основывается на данных о текущем состоянии технологической системы, включая информацию о ее составе, организации и свойствах, данные о плановых производственных заданиях. Использование имитационного моделирования позволяет описывать поведение технологической системы с максимальной достоверностью, относительно реально существующей на предприятии.

### Список источников:

1. Проектно-операционное управление в машиностроительном производстве / А.В. Цырков, П.М. Кузнецов, Г.А. Цырков и др. // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 4. – С. 511-522.
2. Бутко А.О., Кузнецов П.М. Построение информационных моделей в интегрированных системах // Оборонный комплекс научно-техническому прогрессу. – 2019. – № 3. – С. 20-25.

### References:

1. Tsyrcov A.V., Kuznetsov P.M., Tsyrcov G.A., et al. Project and Operations Management of Machine-Building Production. Mordovia University Bulletin. 2018;28(4):511-522.
2. Butko A.O., Kuznetsov P.M. Creating of Information Models in Integrated Systems. Defence Industry Achievements – Russian Scientific and Technical Progress. 2019;3:20-25.

3. Zayatzev A., Lukianova A., Demorentky D., Alexandrova Yu. Evaluation of the influence geometric parameters of a cylindrical specimen for tensile adhesion testing of thermally sprayed coating. E3S Web of Conferences 2023, 402, 09001.

4. Andryukhin N.D., Yagopol'skii A.G., Zaitsev A.N. et al. Simulation in Selecting Metal-Cutting Equipment at Different Stages of Preproduction. Russ. Engin. Res. 2023, 43(5), pp. 598-600.

5. Timiryazev V.A., Scirtladce A.G. Samoprogrammirovaniye trayektoriy s ispol'zovaniyem rezhushchego instrumenta na tokarnykh stankakh s CHPU v remontnykh proizvodstvakh // International Journal of Science, Technology and Society (IJSTS). Vol. 7. №2. 2019, pp. 38-43.

6. Sledkov Yu.G., Khoroshko L.L., Kuznetsov P.M. Management of business processes in short-run production // Russian Engineering Research, 2022, Vol. 42, No. 3, pp. 282-285.

7. Sledkov Yu.G., Khoroshko L.L., Butko A.O., Kuznetsov P.M. Controlling the Dynamic Accuracy in the Contour Machining of Plane // Russian Engineering Research, 2023, Vol. 43, No. 1, pp. 86-88.

3. Zayatzev A., Lukianova A., Demorentky D., Alexandrova Yu. Evaluation of the Influence Geometric Parameters of a Cylindrical Specimen for Tensile Adhesion Testing of Thermally Sprayed Coating. In: Proceedings of International Scientific Siberian Transport Forum – TransSiberia 2023: E3S Web of Conferences: 2023, vol. 402. p. 09001.

4. Andryukhin N.D., Yagopol'skii A.G., Zaitsev A.N., et al. Simulation in Selecting Metal-Cutting Equipment at Different Stages of Preproduction. Russ. Engin. Res. 2023;43(5):598-600.

5. Timiryazev V.A., Scirtladce A.G. Self-Programming the Movement Trajectory of Cutting Tool on CNC Lathes at Repair Plants. International Journal of Science, Technology and Society (IJSTS). 2019; 7(2):38-43.

6. Sledkov Yu.G., Khoroshko L.L., Kuznetsov P.M. Management of Business Processes in Short-Run Production. Russian Engineering Research. 2022;42(3):282-285.

7. Sledkov Yu.G., Khoroshko L.L., Butko A.O., Kuznetsov P.M. Controlling the Dynamic Accuracy in the Contour Machining of Plane. Russian Engineering Research. 2023;43(1):86-88.

#### **Информация об авторах:**

##### **Феофанов Александр Николаевич**

доктор технических наук, профессор кафедры АСОИ и МГТУ «СТАНКИН», вице-президент отделения «Квалиметрия» МОО «Академия проблем качества»

##### **Кузнецов Павел Михайлович**

доктор технических наук, профессор, почетный работник высшей школы, ORCID 0000-0001-9237-3848, ResearcherID: K-8831-2018

##### **Хорошко Александр Леонидович**

аспирант Московского авиационного института (национальный исследовательский университет), ORCID: 0009-0008-0877-7320

#### **Information about the authors:**

##### **Feofanov Alexander Nikolaevich**

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Automated Information Processing and Management Systems of Moscow State University of Technology «STANKIN», Vice-President at the Qualimetry Department of the Interregional Public Organization the Academy of Quality Problems of Moscow State University of Technology «STANKIN»

##### **Kuznetsov Pavel Mikhailovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Honorary Worker of Higher Education, ORCID: 0000-0001-9237-3848, ResearcherID: K-8831-2018

##### **Khoroshko Alexander Leonidovich**

Postgraduate student of Moscow Aviation Institute (National Research University), ORCID: 0009-0008-0877-7320

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 22.04.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 24.07.2024.**

**The article was submitted 22.04.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 24.07.2024.**

**Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.**

**Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.**

## Математическое и компьютерное моделирование

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.942

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35

### ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ МОСТОУКЛАДЧИКОВ

Артём Викторович Краморов<sup>1</sup>, Виталий Владимирович Соседко<sup>2✉</sup>,  
Анна Генриховна Янишевская<sup>3</sup>, Александр Олегович Звонов<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Омский завод транспортного машиностроения, г. Омск, Россия

<sup>2, 3, 4</sup> Омский государственный технический университет, г. Омск, Россия

<sup>1</sup>artem.kramorov@mail.ru

<sup>2</sup>vvs1976@yandex.ru, 0000-0001-9173-535X

<sup>3</sup>anna-yanish@mail.ru, 0000-0002-6191-8769

<sup>4</sup>13rock@bk.ru

**Аннотация.** Проведен обзор такого типа инженерных машин как мостоукладчики. Проанализированы методы их работы и формализация процессов их проектирования. Исследования выполнены на примере существующих мостоукладчиков, с целью разработки нового программного обеспечения для автоматизации и оптимизации процессов проектирования элементов их конструкций. Разработан алгоритм проектирования элементов конструкции мостоукладчика – определение максимально допустимой массы и длины моста. По описанному алгоритму выполняется разработка математической модели процесса проектирования элементов конструкции мостоукладчиков, реализующую алгоритм в виде программы расчета элементов конструкции мостоукладчика. В результате выполнения и последующего внедрения программы, разработчики будут обеспечены надежным и эффективным инструментом, обеспечивающим повышение качества и сокращение времени, необходимого на проведение расчетов в выполняемых проектах. Унификация в части типовых операций и деталей конструкций обеспечит снижение стоимости изготовления мостоукладчиков. Цель исследования состоит в формализации процессов проектирования мостоукладчиков по результатам анализа конструкций мостоукладчиков и принципов их работы. Задача состоит в автоматизации проектирования элементов конструкции мостоукладчиков. Методы исследования: анализ и синтез математических моделей изделий. Новизна работы заключается в построении математической модели мостоукладчика, а также разработке алгоритма и реализации его компьютерного моделирования. Результатами исследования являются алгоритм и математическая модель мостоукладчика.

**Ключевые слова:** компьютерное моделирование, алгоритм, мостоукладчик

**Для цитирования:** Краморов А.В., Соседко В.В., Янишевская А.Г., Звонов А.О. Применение компьютерного моделирования в процессе проектирования элементов конструкции мостоукладчиков // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 28-35. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35.

Original article

Open Access Article

### APPLYING COMPUTER SIMULATION IN THE PROCESS OF DESIGNING STRUCTURAL ELEMENTS OF BRIDGELAYERS

Artem V. Kramorov<sup>1</sup>, Vitaly V. Sosedko<sup>2✉</sup>, Anna G. Yanishevskaya<sup>3</sup>, Alexander O. Zvonov<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Omsk Transport Machine Plant, Omsk, Russia

<sup>2, 3, 4</sup> Omsk State Technical University, Omsk, Russia

<sup>1</sup>artem.kramorov@mail.ru

<sup>2</sup>vvs1976@yandex.ru, 0000-0001-9173-535X

<sup>3</sup>anna-yanish@mail.ru, 0000-0002-6191-8769

<sup>4</sup>13rock@bk.ru

**Abstract.** *The article presents a review of such engineering machines as bridgelayers. The paper analyses their operating methods and design process formalization. The authors use the existing bridgelayers as an example, with the aim of developing new software for automating and optimizing the design processes for their structural elements. The authors develop an algorithm for designing bridgelayer structural elements, determine the maximum permissible weight and length of the bridge. According to the described algorithm, the paper develops a mathematical model of the design process for the bridgelayer structural elements, implementing the algorithm in the form of a program for calculating the bridgelayer structural elements. Because of the execution and subsequent implementation of the program, developers will have a reliable and effective tool that improves the quality and reduces the time required to perform calculations in the projects being performed. Unification in terms of typical operations and structural details will reduce the cost of manufacturing bridgelayers. The aim of the study is to formalize the design processes for bridgelayers based on the results of analyzing bridgelayer designs and their operating principles. The task is to automate the design of the bridgelayer structural elements. The authors use such research methods as analysing and synthesising mathematical models of products. The novelty of the work lies in constructing a mathematical model of a bridgelayer, as well as in developing an algorithm and implementing its computer simulation. The results of the study are an algorithm and a mathematical model of a bridgelayer.*

**Keywords:** computer simulation, algorithm, bridgelayer

**For citation:** Kramorov A.V., Sosedko V.V., Yanishevskaya A.G., Zvonov A.O. Applying Computer Simulation in the Process of Designing Structural Elements of Bridgelayers. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 28-35. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-28-35.

## Введение

Актуальность темы статьи определяется необходимостью интенсивного развития отечественной машиностроительной отрасли, в частности специальных инженерных машин. При этом следует повысить удобство и степень автоматизации их разработки, в частности выбор начальных параметров проектируемой техники. Для этого требуется широкое применение современных методов проектирования. Правильный выбор параметров разрабатываемых машин на ранних стадиях проектирования позволяет значительно сократить время, затрачиваемое на поиск и выбор нужного решения, и уменьшить стоимость готового изделия.

## Постановка задачи

В современных условиях для осуществления оперативного передвижения людей и техники по пересеченной местности необходимы оперативная подготовка путей движения, а также оборудование переправ на водных преградах, в том числе строительство мостов. Для выполнения каждой из перечисленных задач разработаны и действуют специальные машины.

Так, для подготовки дорог предназначены инженерные машины разграждения, выполняющие инженерные работы для обеспечения передвижения людей, оборудования колонных путей, проходов в каменных и лесных завалах, а также земляные и погрузочно-разгрузочные работы. Также инженерные машины представлены оборудованием для оперативного развёртывания временного дорожного полотна.

Для оперативного преодоления водных преград имеются инженерные машины, возводящие мостовые и паромные переправы, а также работающие как паромы.

Для наведения мостов через речные преграды предназначены мостоукладчики. Они разделяются на механизированные мосты и мостоукладчики [1]. К первым относятся такие устройства, как тяжелые механизированные мосты, позволяющие построить мост длиной порядка ста метров или мостовые механизированные комплексы, ко вторым – мостоукладчики.

В мировой практике машиностроения существуют различные способы укладки мостовых блоков. Этими вопросами успешно занимались в том числе сотрудники АО «Омсктрансмаш» [2 – 4]. В данных работах описаны конструкции моста, оборудования и мостоукладчика, но никак не затронута тема выполнения разработки, проектирования, а точнее специализированных систем автоматизированного проектирования элементов конструкции мостоукладчиков.

Анализ перечисленных образцов данного вида техники позволяет представить общий принцип их работы по укладке моста [5 – 7], заключающийся в размещении моста в транспортном положении в точку укладки, раскрытии секций моста, выдвигании моста и опускании моста на грунт. В указанных работах была разработана 3D-модель, проведены кинематический анализ и инженерные расчеты.

Комплексный анализ и учет результатов кинематического и прочностного анализа узлов и механизмов укладки моста дает возможность производителям оценить функциональные особенности, а также разрабатывать более эффективные механизмы. В результате применения компьютерных систем можно с высокой точностью рассчитывать реальное динамическое поведение конструкции, что помогает выбрать оптимальный вариант без изготовления прототипов и прохождения испытаний. Научная новизна работы заключается в построении математической модели мостоукладчика, а также разработке алгоритма и реализации его компьютерного моделирования.

### Решение задачи

Был разработан, а также формализован алгоритм для проектирования элементов конструкции мостоукладчика, в том числе определения максимально допустимой массы и длины моста. Схема алгоритма представлена на рис. 1.

В данном алгоритме учтены характеристики ходовой части мостоукладчика, механизма укладки моста, узла передней опоры. Кроме того, разработана схема для проектирования мостоукладчиков, имеющих телескопический механизм укладки моста. Данный тип механизма представляется наиболее перспективным механизмом для проектирования мостоукладчиков с мостами увеличенных габаритов в связи с его компактностью в транспортном положении, и способностью воспринимать значительную нагрузку при наводке моста на препятствие.

Подробно элементы конструкции описаны в патенте [8].

В данной работе особое внимание уделено добавлению дополнительного опорного катка в конструкции, позволяющего сделать мостоукладчик более устойчивым к нагрузкам от выдвигаемой мостовой конструкции.

### Описание алгоритма

В соответствии с предлагаемым алгоритмом, проектирование производится в следующей последовательности.

1. Начало работы по проектированию предполагает ввод исходных данных: массы шасси, массы поворотной и выдвижной рам, массы моста и массы передней опоры.
2. Производится ввод координат узловых точек: шасси мостоукладчика, поворотной рамы и крепления поворотной рамы к шасси.
3. Выполняется ввод номера точки крепления гидроцилиндра поворотной рамы к шасси и крепления гидроцилиндра поворотной рамы непосредственно к поворотной раме.
4. Выполняется ввод длины гидроцилиндра поворотной рамы.
5. Производится вычисление угла поворота рамы поворотной относительно шасси и вычисление координат поворотной рамы в системе шасси по формулам:

$$\alpha_{pp} := \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 - \frac{\pi}{2};$$

$$\alpha_1 := a \cos \left( \frac{a_{w34}^2 + a_{pp1}^2 - l_{ГЦpp}^2}{2 \cdot a_{ш34} \cdot a_{pp1}} \right);$$

$$\alpha_2 := a \sin \left( \frac{\text{Ш}_{n_{ppш},0} - \text{Ш}_{n_{ГЦppш},0}}{a_{ш34}} \right);$$

$$\alpha_3 := a \sin \left( \frac{\text{РП}_{n_{ГЦpp},1}}{a_{pp1}} \right),$$

где  $a_{pp}$  – угол поворота системы координат рамы поворотной относительно системы координат шасси;  $a_{w34}$  – расстояние между точками крепления рамы поворотной и гидроцилиндрами рамы поворотной к шасси;  $a_{pp1}$  – расстояние между точками крепления рамы поворотной к шасси и гидроцилиндрами к раме поворотной;  $l_{ГЦpp}$  – длина гидроцилиндра рамы поворотной;  $\text{Ш}_{n_{ppш},0}$  – координаты узловой точки крепления рамы поворотной в системе шасси мостоукладчика;  $\text{Ш}_{n_{ГЦppш},0}$  – координаты узловой точки крепления гидроцилиндра рамы поворотной в системе шасси мостоукладчика;  $\text{РП}_{n_{ГЦpp},1}$  – координаты рамы поворотной точки крепления гидроцилиндра рамы поворотной в системе рамы поворотной.



Рис. 1. Алгоритм проектирования элементов конструкции мостоукладчика  
 Fig. 1. The algorithm for designing the structural elements of the bridge

6. Выполняется ввод координат выдвигной рамы.

7. Вводится номер точки крепления выдвигной рамы, ввод выдвигной рамы (на значения от 0 до 4 м).

8. Вычисляются координаты выдвигной рамы в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{рврп}}; \\ \text{РВ}_{\text{ш}_{i,0}} &:= \text{РВ}_{\text{рп}_{i,0}} \cdot \cos(\alpha_{\text{рп}}) + \text{РВ}_{\text{рп}_{i,1}} \cdot \sin(\alpha_{\text{рп}}) + \text{Ш}_{n_{\text{рпш}},0}; \\ \text{РВ}_{\text{ш}_{i,1}} &:= -\text{РВ}_{\text{рп}_{i,0}} \cdot \sin(\alpha_{\text{рп}}) + \text{РВ}_{\text{рп}_{i,1}} \cdot \cos(\alpha_{\text{рп}}) + \text{Ш}_{n_{\text{рпш}},1}. \end{aligned}$$

9. Вводятся координаты моста, ввод данных о расстоянии, на которое выдвинут мост. После этого производится вычисление координат моста в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{отоп}} - 2; \\ \text{МШ}_{0i,0} &:= \text{М}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},0}}; \\ \text{МШ}_{0i,1} &:= \text{М}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},1}}, \end{aligned}$$

затем вводятся координаты передней опоры.

10. Вводится номер точки крепления гидроцилиндра передней опоры к шасси, крепления передней опоры к шасси и крепления гидроцилиндра к передней опоре.

11. Выполняется ввод длины гидроцилиндра передней опоры, вычисляются угол наклона системы координат передней опоры относительно системы координат шасси:

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{оп1}} &:= a \sin\left(\frac{\text{Ш}_{n_{\text{опш}},0} - \text{Ш}_{n_{\text{гцопш}},0}}{a_{\text{ш12}}}\right); \\ \alpha_{\text{оп2}} &:= a \cos\left(\frac{a_{\text{ш12}}^2 + a_{\text{оп1}}^2 - l_{\text{гпо}}^2}{2 \cdot a_{\text{ш12}} \cdot a_{\text{оп1}}}\right); \\ \alpha_{\text{оп}} &:= \frac{\pi}{2} + \alpha_{\text{оп1}} - \alpha_{\text{оп2}}, \end{aligned}$$

и координаты передней опоры в системе шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{опш}} + 1; \\ \text{ОП}_{\text{ш}_{i,0}} &:= \text{ОП}_{i,0} \cdot \cos(\alpha_{\text{оп}}) - \text{ОП}_{i,1} \cdot \sin(\alpha_{\text{рп}}) + \text{Ш}_{n_{\text{опш}},0}; \\ \text{ОП}_{\text{ш}_{i,1}} &:= \text{ОП}_{i,0} \cdot \sin(\alpha_{\text{рп}}) + \text{ОП}_{i,1} \cdot \cos(\alpha_{\text{рп}}) + \text{Ш}_{n_{\text{опш}},1}; \end{aligned}$$

12. Вводится номер точки передней опоры, и вычисляются координаты:  
– шасси:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{отоп}} + 2; \\ \text{Ш}_{0i,0} &:= \text{Ш}_{i,0} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},0}}; \\ \text{Ш}_{0i,1} &:= \text{Ш}_{i,1} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},1}}; \end{aligned}$$

– поворотной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{отоп}} + 1; \\ \text{РПШ}_{0i,0} &:= \text{РП}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},0}}; \\ \text{РПШ}_{0i,1} &:= \text{РП}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},1}}; \end{aligned}$$

– выдвигной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{отоп}}; \\ \text{РВШ}_{0i,0} &:= \text{РВ}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},0}}; \\ \text{РВШ}_{0i,1} &:= \text{РВ}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},1}}; \end{aligned}$$

– моста:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{отоп}} - 2; \\ \text{МШ}_{0i,0} &:= \text{М}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},0}}; \\ \text{МШ}_{0i,1} &:= \text{М}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{n_{\text{отоп}},1}}; \end{aligned}$$

– передней опоры:

$$i := 0..n_{\text{отоп}};$$



$$\begin{aligned} \text{ОПШ}_{0i,0} &:= \text{ОП}_{\text{ш}_{i,0}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{\text{нотоп},0}}; \\ \text{ОПШ}_{0i,1} &:= \text{ОП}_{\text{ш}_{i,1}} - \text{ОП}_{\text{ш}_{\text{нотоп},1}}, \end{aligned}$$

(в системе координат точки опоры).

13. Выполняется вычисление опрокидывающего и восстанавливающего момента:

$$M_{\text{опр}} := g \cdot M_{\text{м}} \cdot \text{МШ}_{0n_{i,0},0};$$

$$M_{\text{восст}} := - \left( M_{\text{ш0}} \cdot \text{Ш}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{рп}} \cdot \text{РПШ}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{рв}} \cdot \text{РВШ}_{0n_{i,0},0} + M_{\text{оп}} \cdot \text{ОПШ}_{0n_{ш0},0} \right) \cdot g,$$

вычисление угла дифферента шасси и вычисление координат:

– шасси:

$$\begin{aligned} \text{Ш}_0 &:= \text{Ш}_0^T; \\ i &:= 0..4; \\ \text{Ш}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{Ш}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{Ш}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{Ш}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{Ш}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{Ш}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– поворотной рамы:

$$\begin{aligned} \text{РПШ}_0 &:= \text{РПШ}_0^T; \\ i &:= 0..3; \\ \text{РП}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{РПШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{РПШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{РП}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{РПШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{РПШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– выдвигной рамы:

$$\begin{aligned} i &:= 0..2; \\ \text{РВ}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{РВШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{РВШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{РВ}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{РВШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{РВШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– моста:

$$\begin{aligned} i &:= 0..0; \\ M_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{МШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{МШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ M_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{МШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{МШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

– передней опоры:

$$\begin{aligned} i &:= 0..2; \\ \text{ОП}_{\text{пов}_{i,0}} &:= \text{ОПШ}_{0i,0} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) + \text{ОПШ}_{0i,1} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{ОП}_{\text{пов}_{i,1}} &:= -\text{ОПШ}_{0i,0} \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + \text{ОПШ}_{0i,1} \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}); \end{aligned}$$

в системе координат поверхности.

14. Вводятся координаты осей торсионов в системе шасси, и происходит вычисление координат торсионов в системе опоры:

$$\begin{aligned} i &:= 0..n_{\text{тш}} + 5; \\ \text{ТО}_{0i,0} &:= O_{0,0} - T_{\text{ш}_{i,0}}; \\ \text{ТО}_{0i,1} &:= T_{\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}. \end{aligned}$$

15. Выполняется ввод исходных данных: длины балансира, диаметра опорного катка, диаметра и длины торсиона, высоты трака гусеницы и деформации шины опорного катка.

16. Вводятся выставки балансиров опорных катков, и производится вычисление координат опорных катков в выставочном положении в системе координат передней опоры:

$$\begin{aligned} \text{ОК}_{0i,0} &:= (O_{0,0} - \text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,0}}) \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}) - (\text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}) \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}); \\ \text{ОК}_{0i,1} &:= (O_{0,0} - \text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,0}}) \cdot \sin(\gamma_{\text{д}}) + (\text{ОБ}_{0\text{ш}_{i,1}} - O_{0,1}) \cdot \cos(\gamma_{\text{д}}). \end{aligned}$$

17. Вычисляются:

– углы закрутки торсиона:

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{т}_{i,0}} &:= \gamma_{0\text{б}0i,0} - \gamma_{\text{б}0i,1}; \\ \gamma_{\text{б}0i,1} &:= a \sin \left( \frac{l_6 \cdot \sin(\gamma_{0\text{б}0i,0}) - h_{\text{ок}0i,1}}{l_6} \right); \end{aligned}$$

– выставка балансиров опорных катков после закрутки торсионов:

$$h_{об1_{i,0}} := l_6 \cdot \sin(\gamma_{60_{i,1}});$$

– реакции, действующие на балансиры от опорных катков:

$$R_{к_{i,0}} := \frac{M_{т_{i,0}}}{l_6 \cdot \cos(\gamma_{60_{i,1}})};$$

– координаты осей опорных катков в системе координат передней опоры:

$$OK_{0_{i,0}} := T_{ш_{i,0}} - l_6 \cdot \cos(\gamma_{60_{i,1}});$$

$$OK_{0_{i,1}} := T_{ш_{i,1}} - h_{об1_{i,0}};$$

Таким образом, в результате расчета конструктор получает все параметры кинематики мостоукладчика.

### Заключение

Описанный алгоритм позволяет автоматизировать расчеты параметров конструкции мостоукладчиков, для чего в настоящее время разрабатывается программная реализация алгоритма. В результате ее разработки и последующего внедрения специалисты будут обеспечены надежным и эффективным инструментом, обеспечивающим повышение надежности и сокращение времени, необходимого на проведение расчетов в выполняемых проектах. Описанные преимущества улучшают качество проектируемого оборудования в целом. Кроме того, унификация, состоящая в использовании типовых операций и элементов конструкций, существенно снизит стоимость изготовления мостоукладчиков.

#### Список источников:

1. Названы отличия военных переправ НАТО и России - Hi-Tech <https://hi-tech.mail.ru/review/60484-dostat-mosty-kak-voyska-forsiruyut-reki-esli-vse-perepravu-unichtozheny/#anchor488156>

2. Тяжелый штурмовой мост: пат. 36114 Рос. Федерация: МПК E01D 15/12 / Апарин А.Ф., Беляков В.Ф., Вандяев И.М., Жуков А.И., Захаров В.А., Киткин В.В., Мишин В.И., Хиневич Г.А., Шумаков И. К., Шаповалов В. В., владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2003129341/20, заявл. 10.06.03; опублик. 27.04.04.

3. Комплект съемного оборудования для погрузки штурмового kolejного моста на железнодорожную платформу: пат. 2 415 222 Рос. Федерация: / Беляев В.В., Дрожжин А.В., Киткин В.В., Тропников М.А. владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2009144830/03, заявл. 12.02.09; опублик. 27.03.11.

4. Мостоукладчик: пат. 2 102 556 Рос. Федерация: / Еременко Б.И., Кокорев И.М., Куракин Б.М., Малышев В.А., Одинцов Г.А., Попов Н.Л., Хиневич Г.А., Яковлев И.С. владелец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 96107456/03, заявл. 18.04.96; опублик. 20.01.98.

5. Национальная научно-техническая конференция. Мостоукладчик МТУ-2020. Краморов А.В., АО «Омсктрансмаш» <https://nntk-smr.ru/archive/400/>

6. Краморов А.В., Янишевская А.Г. Использование компьютерного моделирования при проектировании новых изделий // Динамика систем, механизмов и машин. – 2020. – Т. 8. – № 2. – С. 44-49.

#### References:

1. The Differences Between NATO and Russian Military Crossings are Named – Hi-Tech [Internet]. Available from: <https://hi-tech.mail.ru/review/60484-dostat-mosty-kak-voyska-forsiruyut-reki-esli-vse-perepravu-unichtozheny/#anchor488156>

2. Aparin A.F., Belyakov V.F., Vandyaev I.M., Zhukov A.I., Zakharov V.A., et al. Heavy Assault Bridge. Patent RF, no. 36114; Apr 27, 2004.

3. Belyaev V.V., Drozhzhin A.V., Kitkin V.V., Troppnikov M.A. Set of Detachable Equipment to Load Arc Bridge Onto a Railway Platform. Patent RF, no. 2415222; Mar 27, 2011.

4. Eremenko B.I., Kokorev I.M., Kurakin B.M., Malyshev VA, Odintsov GA, et al. Bridge Layer. Patent RF, no. 2102556; Jan 20, 1998.

5. Kramarov A.V. Proceedings of the National Scientific and Technical Conference MTU-2020: Bridge Layer [Internet]. Omsk: JSC Omsktransmash. Available from: <https://nntk-smr.ru/archive/400/>

6. Kramarov A.V., Yanishevskaya A.G. Using Computer Simulation in Designing New Products. Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines. 2020;8(2):44-49.

7. Практическое применение математического пакета Mathcad при выполнении инженерных расчетов. Краморов А. В., Сборник: Информационный бюллетень Омского научно-образовательного центра ОмГТУ и ИМ СО РАН в области математики и информатики. Материалы IX Международной молодежной научно-практической конференции с элементами научной школы «Прикладная математика и фундаментальная информатика», посвященной 80-летию со дня рождения академика РАН Евтушенко Ю. Г. – 2019. – С. 189-191.

8. Мостуюкладчик на шасси базового танка (варианты): пат. 35346 U1 Рос. Федерация: / Беляков В.Ф., Еремеев Г.Д., Киткин В.В., Кондратьев И.А., Мишин В.И., Шумаков И.К., Ташков А.В., Хиневич Г.А. владделец патента: Федеральное государственное унитарное предприятие Конструкторское бюро транспортного машиностроения. – № 2003125730/20, заявл. 20.08.03; опублик. 10.01.04.

#### **Информация об авторах:**

##### **Краморов Артем Викторович**

аспирант Омского государственного технического университета, Author-ID-РИНЦ: 1033946

##### **Соседко Виталий Владимирович**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геометрия и САПР» Омского государственного технического университета, Scopus-Author ID: 57194833548, Researcher-ID-Web of Science: HLX-2618-2023, Author-ID-РИНЦ: 836278

##### **Янишевская Анна Генриховна**

Доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная геометрия и САПР», профессор кафедры «Информатика и вычислительная техника» Омского государственного технического университета, Scopus-Author ID: 6507814908, Researcher-ID-Web of Science: E-8875-2014, Author-ID-РИНЦ: 174651

##### **Звонов Александр Олегович**

кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Информатика и вычислительная техника» Омского государственного технического университета, Author-ID-РИНЦ: 713061

7. Kramarov A.V. Practical Application of Mathcad Math Package When Performing Engineering Calculations. In: Proceedings of the 9th International Youth Scientific and Practical Conference on Applied Mathematics and Fundamental Computer Science Dedicated to the 80th Anniversary of the Birth of Academician of the Russian Academy of Sciences Yevtushenko Yu.G.; 2019 Apr 23 – Apr 30; Omsk: Information Bulletin of Omsk Scientific and Educational Centre of OmskSTU, the Institute of Mathematics of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in the Field of Mathematics and Computer Science: 2019. p. 189-191.

8. Belyakov V.F., Eremeev G.D., Kitkin V.V., Kondratyev IA, Mishin VI, et al. Bridgelayer on the Chassis of a Base Tank (Variants): Patent RF, no. 35346 U1; Jan 10, 2004.

#### **Information about the authors:**

##### **Kramorov Artem Viktorovich**

Postgraduate student of Omsk State Technical University, Author-ID-RINC: 1033946

##### **Sosedko Vitaly Vladimirovich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Engineering Geometry and CAD of the Omsk State Technical University, Scopus-Author ID: 57194833548, Researcher-ID-Web of Science: HLX-2618-2023, Author-ID-RSCI: 836278

##### **Yanishevskaya Anna Genrikhovna**

Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Engineering Geometry and CAD, Professor at the Department of Computer Science and Engineering of Omsk State Technical University, Scopus-Author ID: 6507814908, Researcher-ID-Web of Science: E-8875-2014, Author-ID-RSCI: 174651

##### **Zvonov Alexander Olegovich**

Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Computer Science and Engineering of Omsk State Technical University, Author-ID-RINTS: 713061

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 16.04.2024; одобрена после рецензирования 01.08.2024; принята к публикации 16.08.2024.**

**The article was submitted 16.04.2024; approved after reviewing 01.08.2024; accepted for publication 16.08.2024.**

**Рецензент** – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 681.51

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-36-41

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ В МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Елена Владимировна Сокова<sup>1✉</sup>, Татьяна Геннадьевна Гришина<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

<sup>1</sup> e.sokova@stankin.ru

<sup>2</sup> grishena@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается применение теории оптимальных систем в работе единой информационной среды (ЕИС) системы технической документации предприятия с функцией голосового помощника. Рассмотрен пример работы модели автоматизированной ЕИС, алгоритм работы голосового ассистента. Цель исследования в предоставлении инструментов и методов теории оптимальных систем для оптимизации поведения рассматриваемой системы работы голосового ассистента, которые позволяют достичь высоких показателей в задачах управления и управляемости производства. Результаты исследования применимы в различных отраслях деятельности современных предприятий, использующих автоматизированные системы управления.

**Ключевые слова:** автоматизация, моделирование, голосовой ассистент, информационная среда, техническая документация, оптимальные системы, технологический процесс

**Для цитирования:** Сокова Е.В., Гришина Т.Г. Применение теории оптимальных систем в моделировании процесса разработки автоматизированной информационной системы промышленных предприятий // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 36-41. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-36-41.

Original article

Open Access Article

## APPLYING THE OPTIMAL SYSTEM THEORY IN MODELLING THE DEVELOPMENT PROCESS OF AN AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES

Elena V. Sokova<sup>1✉</sup>, Tatiana G. Grishina<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Moscow State University of Technological «STANKIN», Moscow, Russia

<sup>1</sup> e.sokova@stankin.ru

<sup>2</sup> grishena@mail.ru

**Abstract.** The article considers the application of the optimal system theory in operating a unified information environment (UIE) of an enterprise's technical documentation system with a voice assistant function. The paper considers an example of an automated UIE model operation and an algorithm for the voice assistant. The aim of the study is to provide tools and methods of the optimal system theory for optimizing the behaviour of the voice assistant system under consideration, which allows achieving high performance in production management and controllability tasks. The results of the study are applicable in various fields of modern enterprises' activity using automated control systems.

**Keywords:** automation, modelling, voice assistant, information environment, technical documentation, optimal systems, technological process

**For citation:** Sokova E.V., Grishina T.G. Applying the Optimal System Theory in Modelling the Development Process of an Automated Information System for Industrial Enterprises. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26), pp. 36-41. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-36-41.

### Введение

В непрерывных автоматизированных системах преобладающую роль играет решение задачи оптимального управления непрерывным технологическим процессом, которая осуществ-

ляется параллельно с автоматизацией организационно-экономическим управлением деятельностью предприятий, движущийся поэтапно со сдвигом во времени.

Одним из основных преимуществ применения теории оптимальных автоматических систем является ее способность предсказывать и моделировать динамику поведения систем: разработка алгоритма сбора, преобразования и обработки информации в целях выбора оптимальных решений по управлению отдельными подсистемами и системой предприятия в целом. С помощью математических методов и моделей, основанных на этой теории, определяются оптимальные траектории и стратегии управления АСУП, что играет ключевую роль в области производства и инжиниринга, где эффективное управление и оптимизация процессов являются основными вопросами [1].

### Модель и алгоритм работы единой информационной системы

Предлагается рассмотреть применение оптимальных систем на примере модели работы ЕИС системы ТД на основе использования единого источника публикаций, в результате работы которой создается ЕИС, которая позволяет ускорить процесс разработки изделий и обеспечить непрерывность технологического процесса, за счет применения голосового ассистента. Предлагаемая модель работы голосового ассистента приведена на рис. 1 и включает в себя 7 основных этапов с обратной связью [2].

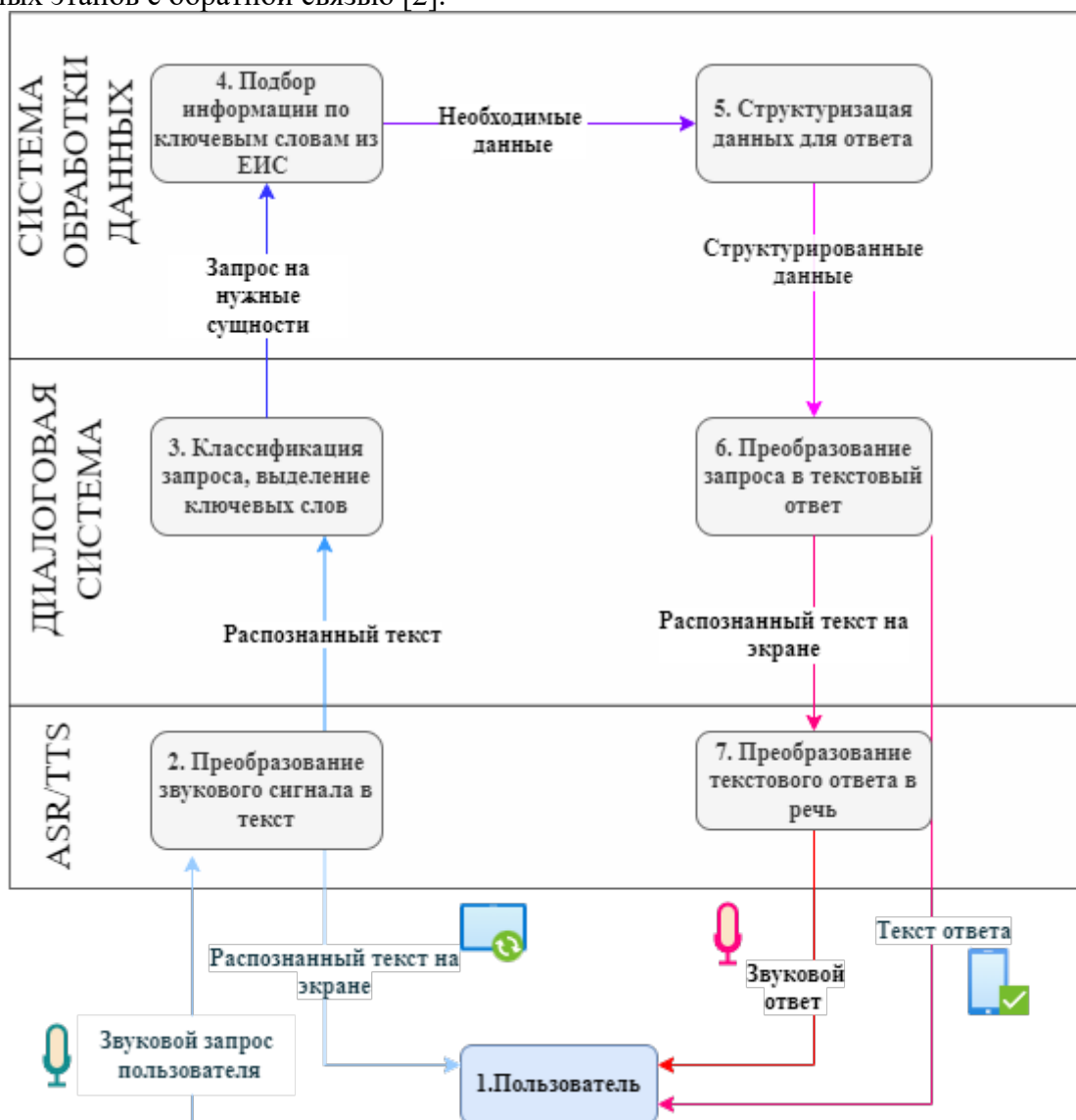


Рис. 1. Работа голосового ассистента с единой информационной системой  
 Fig. 1. Voice assistant operation with Unified Information System

Алгоритм процесса работы такой системы (рис. 2) представляет собой систему с обратной связью, по сути являющуюся системой автоматического регулирования технологических переменных с присущими ей основными динамическими характеристиками.

Динамика непрерывной работы системы голосового управления определяется совокупностью линейных дифференциальных уравнений второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$\left. \begin{aligned} a_{11}(p)x_1 + a_{12}(p)x_2 + \dots + a_{1k}(p)x_{1k} &= f_1(t) \\ a_{21}(p)x_1 + a_{22}(p)x_2 + \dots + a_{2k}(p)x_{1k} &= f_2(t) \\ \dots &\dots \\ a_{k1}(p)x_1 + a_{k2}(p)x_2 + \dots + a_{kk}(p)x_{1k} &= f_k(t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $a_{ij}(p) = A_{ij}p^2 + B_{ij}p + C_{ij}$  – операторы, определяющие порядок и число операций дифференцирования переменных  $x_1, x_2, \dots, x_k$  (составляющих вектора состояния системы  $x$ );  $p \equiv \frac{d}{dt}$  – символическое обозначение операции дифференцирования;  $A_{ij}, B_{ij}, C_{ij}$  – постоянные коэффициенты, часть которых может быть равна нулю;  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_k(t)$  – внешние воздействия на систему (функции времени), часть из которых равна нулю.

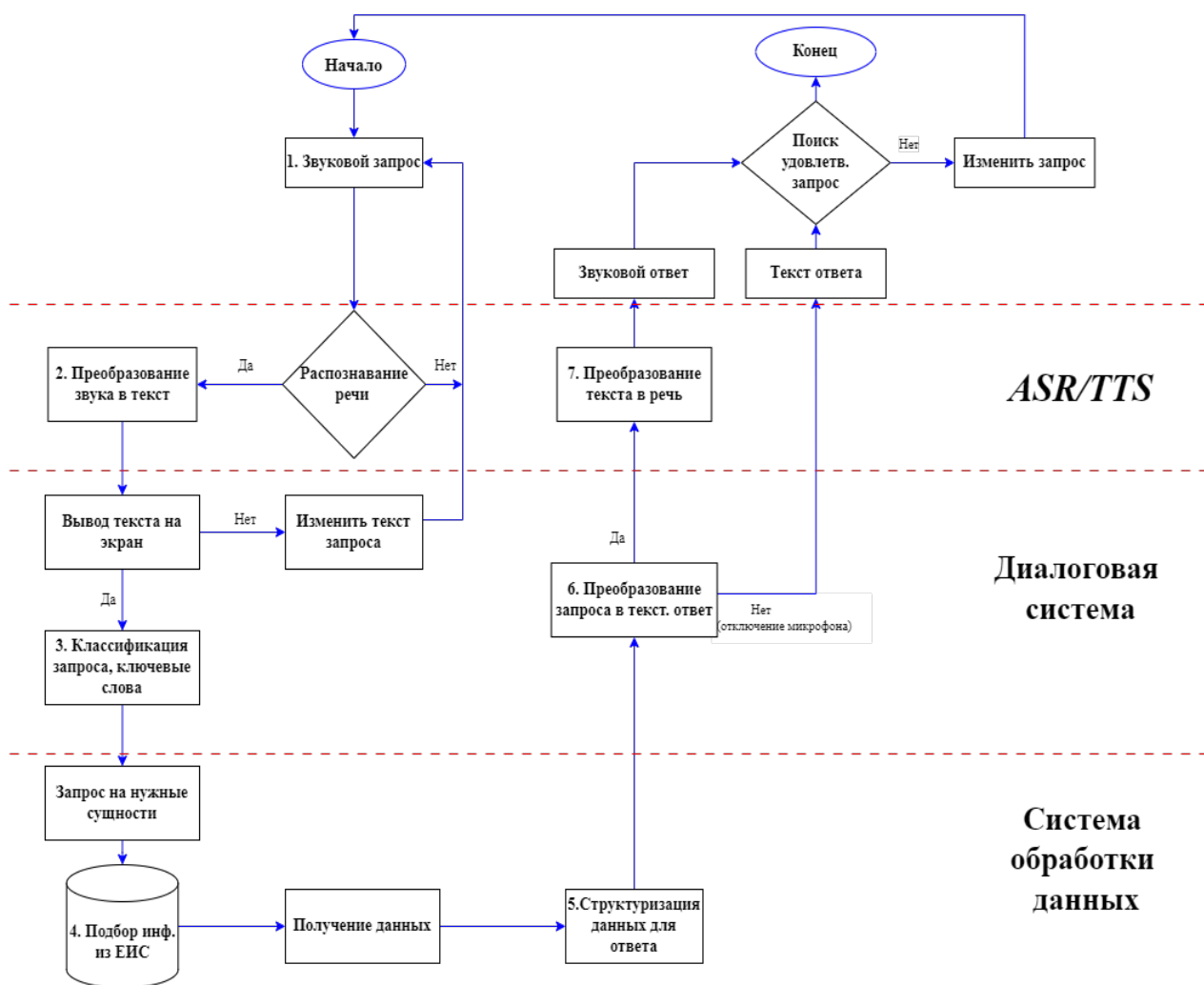


Рис. 2. Алгоритм работы голосового ассистента  
Fig. 2. Voice assistant algorithm

### Синтез оптимальной системы автоматического управления

Рассматриваемые теория автоматического регулирования и теория оптимальных автоматических систем необходимы при изучении динамики поведения систем, где за счет обратной

связи в системе возникают замкнутые контуры, а также для решения задач составления алгоритмов оптимального управления ЕИС и работы голосового ассистента.

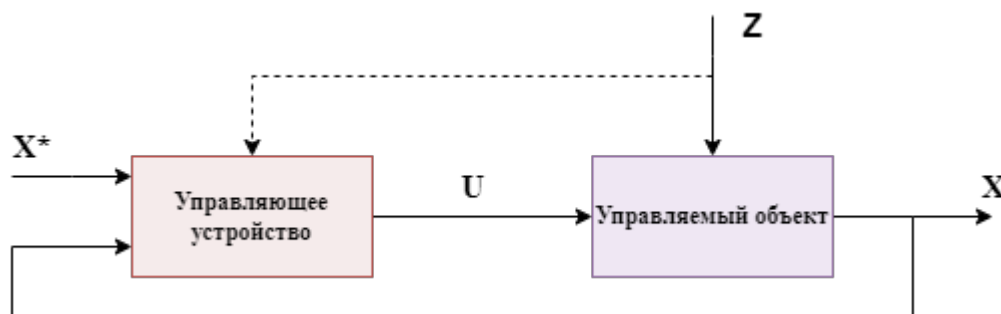
Применение математического обеспечения работы ЕИС состоит из двух основных этапов. Первый предусматривает выбор математического моделирования и оптимизацию процессов в системе. Сюда относится разработка алгоритма сбора, преобразования и обработки информации в целях выбора оптимальных решений по управлению отдельными подсистемами и системой в целом. Данный этап непосредственно опирается на результаты разработки информационного обеспечения, т.е. на выбранный перечень задач.

Второй этап заключается в разработках программно-математического обеспечения, реализующих алгоритмы работы первого этапа. В данном случае, имеется в виду выбор технологии распознавания и синтеза речи *ASR (Automatic Speech Recognition)* и *TTS (Text To Speech)*, диалоговой системы и системы обработки данных.

Принимая во внимание, что линейная система подчиняется принципу суперпозиции (нет необходимости рассматривать эффект одновременного воздействия нескольких воздействий  $f_i(t)$ , характеризующих систему управления, достаточно оставить одно, обозначив его  $f(t)$ ) и представляет интерес изменение во времени только одной из переменных  $x_i$ , а именно регулируемой и постоянной переменной (например,  $x_1 = x$ ). Исключив из уравнения остальные переменные, получим одно дифференциальное уравнение  $n$ -го порядка ( $n \leq 2k$ ), являющееся дифференциальным уравнением процесса регулирования:

$$D(p)x = M(p)f(t),$$

связывающее величину  $x(t)$  на выходе системы с величиной  $f(t)$  на ее входе. Система автоматического управления может быть представлена в виде схемы, показанной на рис. 3.



**Рис. 3. Схема оптимальной системы автоматического управления:**

А – управляющее устройство; В – управляемый объект

**Fig. 3. Diagram of the optimal automatic control system:**

A – control device; B – managed object

Здесь рассматриваются четыре векторные переменные величины, приложенные к различным точкам системы:  $X = (X_1, \dots, X_2)$  – управляемая величина;  $U = (U_1, \dots, U_r)$  – управляющее воздействие;  $X^* = (X^*_1, \dots, X^*_2)$  – задающее воздействие инструкция, конкретизирующая цель управления;  $Z = (Z_1, \dots, Z_i)$  – возмущающее воздействие.

Предполагается, что объект  $B$  задан и требуется выбрать алгоритм управляющего устройства  $A$ , которое в некотором смысле наилучшим образом управляет объектом  $B$ . Алгоритм управляющего устройства  $A$  определяется факторами, относящимися к объекту  $B$  и способу его соединения с управляющим устройством  $A$ . К числу этих факторов относятся: характеристики объекта; требования к объекту и характер информации, поступающей от объекта к управляющему устройству [3].

Здесь задача оптимального управления состоит в оперативном решении вопросов оптимизации в процессе автоматического управления и принятия мер для приближения технико-экономических параметров к их экстремальным значениям. Она предоставляет инструменты и методы для оптимизации поведения рассматриваемой системы работы голосового ассистента, позволяя достичь высоких показателей в различных задачах управления и управляемости производства.





## Заключение

Развитие современных автоматизированных систем, которые способны справляться с меняющимися условиями, динамикой и запросами производства, необходимы для обеспечения максимальной эффективности и надежности работы в различных областях. Теория оптимальных систем способствует созданию автоматизированных систем, включающих в себя разработку и улучшение систем автоматизированного управления, обеспечивающих контроль и оптимизацию процессов на всех этапах работы ЕИС. Она предлагает эффективные методы конструирования и синтеза систем, что позволяет создавать новые и улучшенные АСУ, обеспечивает математическую основу для проектирования и структурирования систем, исследования свойств и анализа их эффективности, обеспечивает разработку систем с наилучшей производительностью, минимальными затратами и максимальной надежностью в условиях непрерывного роста популярности и удобства использования технологии голосовых ассистентов и постоянного совершенствования технологий, которые учитывают принцип инклюзивности [4].

### Список источников:

1. Мишурина А.А., Гришина Т.Г., Фефанов А.Н. Повышение качества процесса проектирования – важная составляющая обеспечения эффективности машиностроительной отрасли // Технология машиностроения. – 2023. – № 5. – С. 52-56.
2. Сокова Е.В., Гришина Т.Г. Применение голосового ассистента в автоматизированных системах управления технической документацией предприятия // Вестник МГТУ «Станкин». – 2023. – № 3(66). – С. 110-115.
3. Мешков В.Г. Определение взаимосвязей между процессами в условиях автоматизации производственных систем предприятия // Вестник МГТУ «Станкин». – 2023. – № 2(65). – С. 105-109.
4. Колошкіна І.Е., Капітанов А.В., Фефанов А.Н. Эффективность применения автоматизированной интеллектуальной системы для формирования технологической документации // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2024. – № 1(193). – С. 50-57.

### Информация об авторах:

#### Сокова Елена Владимировна

аспирант Московского государственного технологического университета «СТАНКИН»

#### Гришина Татьяна Геннадьевна

доктор технических наук, доцент кафедры автоматизированных систем обработки информации и управления, Московского государственного технологического университета «СТАНКИН»

### References:

1. Mishurina A.A., Grishina T.G., Feofanov A.N. Improving the Quality of the Design Process is an Important Component of Ensuring the Efficiency of the Engineering Industry. Engineering Technology. 2023;5: 52-56.
2. Sokova E.V., Grishina T.G. The Use of Voice Assistant in Automated Management Systems of Technical Documentation of the Enterprise. Vestnik MSUT “Stankin”. 2023;3(66):110-115.
3. Meshkov V.G. Determinations of Interrelations Between Processes in the Conditions of Automation of Production Systems of the Enterprise. Vestnik MSUT “Stankin”. 2023;2(65):105-109.
4. Koloshkina I.E., Kapitanov A.V., Feofanov A.N. The Effectiveness of the Use of an Automated Intelligent System for the Formation of Technological Documentation. Information Technology of CAD/CAM/CAE. 2024;1(193):50-57.

### Information about the authors:

#### Sokova Elena Vladimirovna

Postgraduate student of Moscow State University of Technology «STANKIN»

#### Grishina Tatiana Gennadievna

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of Automated Data Processing Systems and Management of Moscow State University of Technology «STANKIN»

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 29.05.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 17.09.2024.**

**The article was submitted 29.05.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 17.09.2024.**

**Рецензент – Федяева Г.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.**

**Reviewer – Fedyeva G.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.**

## Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 654.078

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-42-49

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА КАНАЛОВ СВЯЗИ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ДИСПЕТЧЕРСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В СОСТАВЕ РЕЧНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Александр Владимирович Базылев<sup>1</sup>, Валерий Иванович Плющаев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>1</sup> kaf\_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6686-8628>

<sup>2</sup> kaf\_radio@vsuwt.ru, <http://orcid.org/0000-0001-6120-3782>

**Аннотация.** Приведены результаты экспериментальных исследований возможности использования каналов связи на базе автоматической идентификационной системы (АИС) для обмена информацией между судами и береговыми пунктами дополнительными объемами информации. Эксперимент проведен с использованием разработанных компонентов речных информационных систем (РИС) – диспетчерского и судового терминалов связи, использующих для передачи информации каналы связи АИС. Показано, что на внутренних водных путях (ВВП) на базе АИС целесообразно строить автоматизированные комплексы обмена информацией между судами и береговыми пунктами. Использование АИС для обмена информацией в РИС позволит не только повысить эффективность и безопасность судоходства, но и снизить расходы на эксплуатацию системы за счет использования уже существующей инфраструктуры.

**Ключевые слова:** речная информационная система, судовой терминал связи, автоматическая идентификационная система, связь на внутренних водных путях

**Для цитирования:** Базылев А.В., Плющаев В.И. Экспериментальная проверка каналов связи для передачи диспетчерской информации в составе речной информационной системы // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 42–49. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-42-49.

Original article

Open Access Article

### EXPERIMENTAL TESTING OF COMMUNICATION CHANNELS FOR TRANSMITTING DISPATCH INFORMATION AS PART OF A RIVER INFORMATION SYSTEM

Alexander V. Bazylev<sup>1</sup>, Valery I. Plyushchaev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

<sup>1,2</sup> kaf\_radio@vsuwt.ru

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of using communication channels based on an automatic identification system (AIS) for exchanging additional amount of information between vessels and coastal points. The authors conduct the experiment using the developed components of river information systems (RIS), namely the dispatcher and ship communication terminals that apply AIS communication channels to transmit information. The paper shows that on inland waterways (IWW) it is advisable to build automated complexes for exchanging information between vessels and coastal points based on AIS. Using AIS for exchanging information in RIS will not only improve the efficiency and safety of navigation, but also reduce the cost of the system operation due to the use of the existing infrastructure.

**Keywords:** river information system, ship communication terminal, automatic identification system, communication on inland waterways

**For citation:** Bazylev A.V., Plyushchaev V.I. Experimental Testing of Communication Channels for Transmitting Dispatch Information as Part of a River Information System. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 42–49. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-42-49.

## Введение

Ключевой проблемой обеспечения безопасности и эффективности судоходства на ВВП является организация надежной связи. В [1] представлен судовой терминал связи (СТС), позволяющий осуществлять обмен информацией в направлениях судно-берег, берег-судно и судно-судно и полностью обеспечивать реализацию требований «Порядка диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации» [2].

В СТС предусмотрена передача информации двумя способами. Первый способ – использование каналов автоматических идентификационных систем (АИС), которыми оснащены все суда речного флота. Технические возможности АИС позволяют обмениваться дополнительной информацией, не регламентированной стандартами АИС без затрат на реализацию дополнительных каналов связи [3, 4]. В случае отсутствия связи в сети АИС или при передаче больших объемов информации (вне рамок, определяемых [2]) используется пакетная передача данных GPRS по сотовым сетям.

Автоматическая идентификационная система использует два канала связи (канал *A* и канал *B*) с множественным доступом с временным разделением (МДВР) [5, 6]. Для передачи информации используются повторяющиеся кадры длительностью 1 мин, каждый из которых разбивается на 2250 слотов. Работа на двух частотах позволяет передать за минуту 4500 однослотовых сообщений со скоростью 9600 бит/с (некоторые сообщения могут занимать до 5 слотов). Реальная пропускная способность канала АИС зависит от количества судов в зоне действия станции АИС и характера их движения (скорости и изменения курса). Интервал передачи динамической информации судовой АИС может меняться от 2 с (скорость более 23 узлов с изменением курса) до 3 мин (судно на якоре со скоростью менее 3 узлов). Таким образом, если в зоне действия АИС находятся 75 судов, передающих однослотовые сообщения один раз в 2 с (30 сообщений в минуту), то в кадре на одной частоте окажутся заняты все слоты ( $30 \cdot 75 = 2250$ ). Однако такой сценарий для реки невозможен.

Алгоритмы МДВР позволяют обмениваться информацией даже в случае, если все слоты в кадре заняты, и станция не может выбрать свободный слот для передачи своего сообщения. В этом случае станция может выбрать для передачи слот, занятый удаленной станцией. В этом случае передача удаленной станции будет подавлена [6, 7].

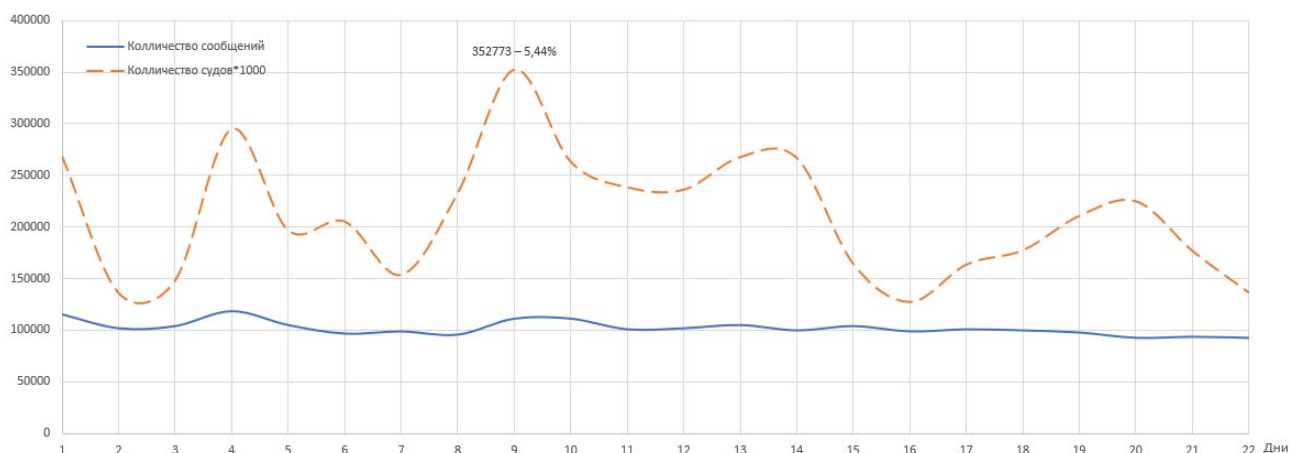
## Результаты экспериментальных исследований

Для обоснования возможности передачи по каналам АИС дополнительной информации (в рамках речной информационной системы), в Нижнем Новгороде с 01 по 22 августа 2023 г. был проведен мониторинг загруженности сети АИС. Антенна АИС установлена на крыше 10-этажного корпуса ВГАВТ, на высоте 128 м над уровнем р. Волга (64 м в Балтийской системе в период наблюдений). Контроль производился с помощью приемника Samsung SI-70A. Зона наблюдения представлена на рис. 1.



Рис. 1. Зона проведения мониторинга загруженности сети АИС  
*Fig. 1. The area for monitoring the traffic of the AIS network*

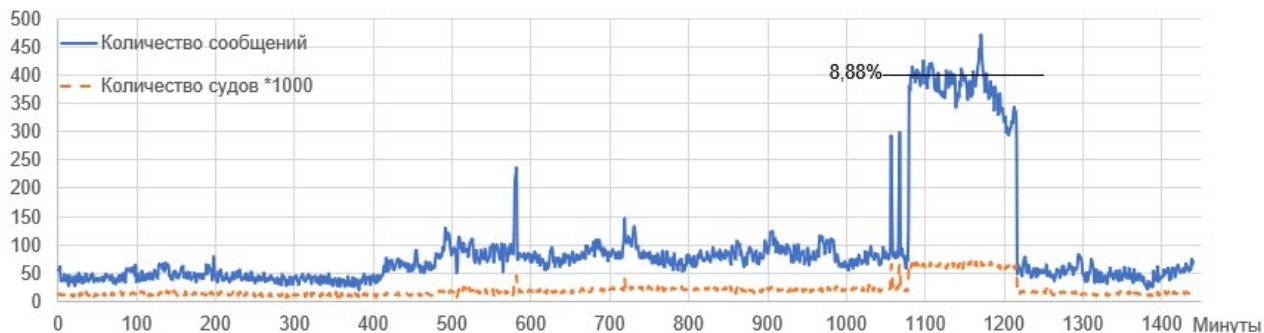
На рис. 2 представлены количество судов с включенными АИС в зоне действия береговой станции и количество однослотовых сообщений, сгенерированных судовыми АИС.



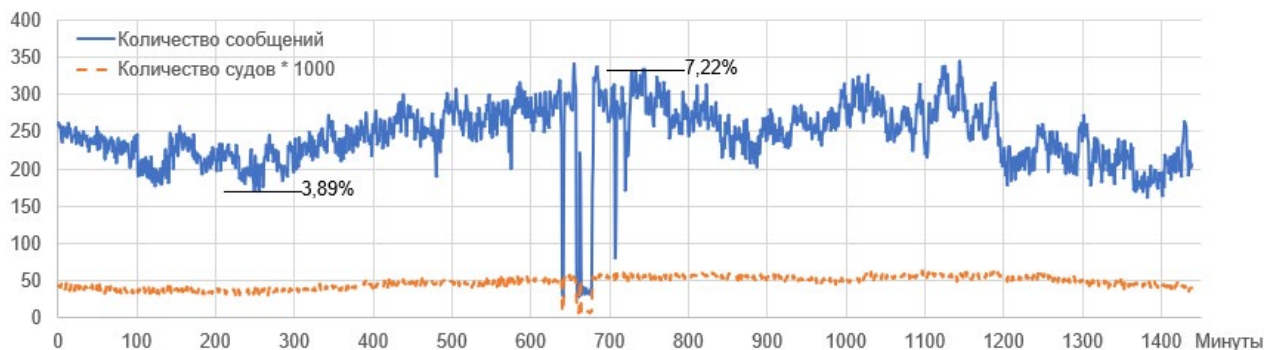
**Рис. 2. Количество судов и сообщений АИС в зоне контроля**  
**Fig. 2. Number of AIS vessels and messages in the control area**

Количество судов в зоне контроля за период мониторинга составило от 93 до 118 за каждый час наблюдения. Максимальная загрузка каналов АИС наблюдалась 09 августа 2023 г. – принято 352 773 (в пересчете на однослотовые) сообщений. При этом загрузка каналов *A* и *B* в сети АИС составила 5,44 %. На рис. 3 показаны данные на 02 августа (наименьшая интенсивность движения и радиообмена) и 9 августа (наибольшая нагрузка в период наблюдения). В двух точках на каждом графике приведены значения загрузки каналов *A* и *B* АИС.

2.08.2023



9.08.2023



**Рис. 3. Количество судов и сообщений АИС в зоне контроля 2 и 9 августа**  
**Fig. 3. The number of AIS vessels and messages in the control zone on 2 and 9 august**

Интервалы передачи станции АИС зависят от условий плавания и типа станции (определяется [5 – 7]). Все возможные варианты приведены в табл. 1.

## Интервалы передачи станций АИС класса А и В

## Transmission intervals of AIS Class A and B stations

Оборудование класса А	Номинальный интервал передачи	Оборудование класса В	Номинальный интервал передачи
Судно «на якорю», скорость не более 3 узлов	180 с	Скорость менее 2 узлов	180 с
		Скорость от 2 до 14 узлов	30 с
		Скорость от 14 до 23 узлов	15 с
Судно «на якорю», скорость более 3 узлов	10 с		
Скорость 0...14 узлов, изменение курса	3 1/3 с		
Скорость 14...23 узла	6 с	Скорость больше 23 узлов	5 с
Скорость 14...23 узла, изменение курса	2 с		
Скорость более 23 узлов	2 с		
Скорость более 23 узлов, изменение курса	2 с		
Передача статической информации	360 с		

На основании данных мониторинга была построена диаграмма (рис. 4), отражающая распределение количества судов по режимам плавания, а следовательно, по определяемым условиям плавания номинальным интервалам передачи на интервале с 18:00 до 19:00 2 августа 2023 г. В этот час наблюдалась максимальная загрузка каналов АИС за весь период мониторинга (см. рис. 3), хотя средняя загрузка в этот день была наименьшей за период мониторинга.

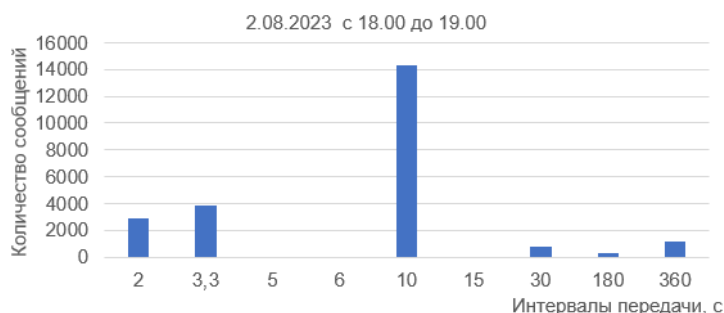


Рис. 4. Распределение судов по номинальным интервалам передачи в зависимости от режима движения  
Fig. 4. Distribution of vessels by nominal transmission interval depending on the traffic mode

Всего в зоне действия береговой АИС в этот час находилось 83 судна. Каждые 6 мин каждое судно также передавало статическую информацию (столбик 360 на рис. 4). Количество переданных сообщений для такого распределения представлено на рис. 5.

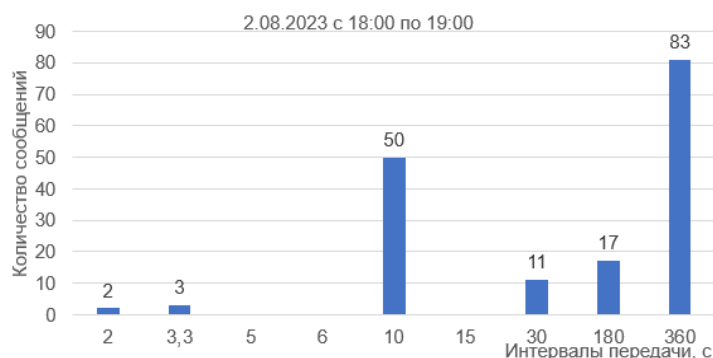


Рис. 5. Распределение сообщений станций АИС судов по номинальным интервалам передачи  
Fig. 5. Distribution of messages from AIS stations of ships by nominal transmission interval

83 судна, находящиеся в зоне мониторинга, в интервале с 18:00 до 19:00 часов 02 августа 2023 г., отправили 23 298 сообщений (или 388 сообщений в минуту). То есть максимальная загрузка каналов *A* и *B* АИС за период наблюдения не превышает 8,62 %. При таком распределении судов по интервалам передачи и одновременной работе на каналах *A* и *B* АИС можно обслужить более 480 судов. Проблема перегрузки каналов АИС на ВВП крайне маловероятна. Работа некоторых из станций АИС на 40-ка секундном интервале показана на временной диаграмме (рис. 6).

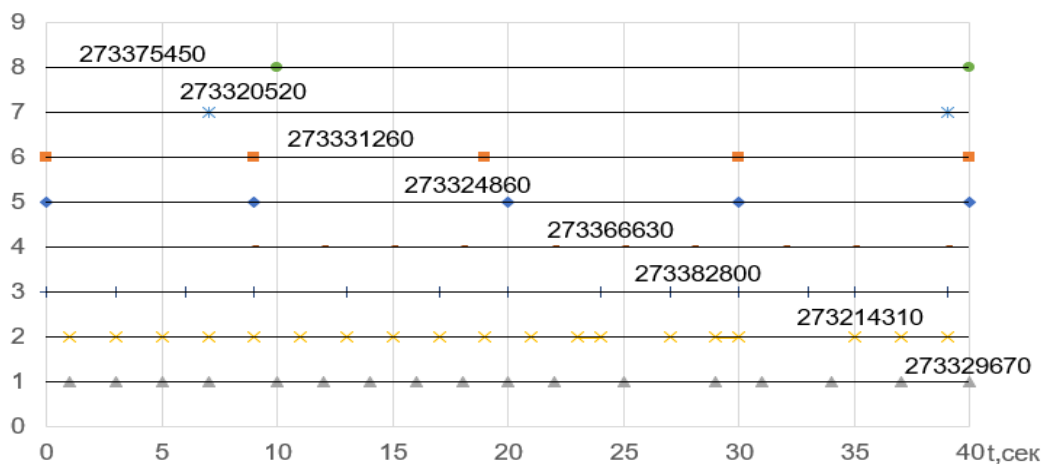


Рис. 6. Временная диаграммы работы станций АИС

Fig. 6. Time diagram of AIS stations operation

При обмене информацией в направлениях судно-берег, берег-судно и судно-судно (в рамках обеспечения реализации требований «Порядка диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации» [2]) передачи осуществляются сравнительно редко. Диспетчерский пункт рассылает радиобюллетени по расписанию (один раз в 4 часа) или по необходимости осуществляет связь с судами отдельными посылками. В таком же режиме работает и АИС судна при работе с диспетчерским пунктом или другим судном.

Для того, чтобы система обеспечивала работоспособность на всех версиях АИС объем радиобюллетеня составляет от 1 до 3 слотов, судовых сообщений – 1 слот. Это связано с тем, что АИС класса *A* могут работать с сообщениями длиной до 5 слотов, в то время как станции АИС класса *B* могут обрабатывать сообщения длиной до 3 слотов.

Таким образом, результаты проведенных экспериментов показывают, что использование каналов АИС для передачи дополнительной информации не окажет заметного воздействия на загрузку сети АИС на ВВП.

### Оценка работоспособности информационной сети

Для проверки работоспособности информационной системы была развернута сеть, состоящая из рабочего места диспетчера и двух СТС.

Рабочее место диспетчера (рис. 7) было размещено в здании ВГУВТ. Первый СТС (рис. 8) смонтирован в рубке теплохода «Петр Андрианов», на расстоянии 6,2 км от диспетчерского пункта). Второй СТС размещен в здании ВГУВТ.

В состав автоматизированного (АРМ) рабочего места «Диспетчер» входят: автоматическая идентификационная система (АИС) типа класса *A*; панельный компьютер; преобразователь интерфейса; принтер; специализированное программное обеспечение.

В состав СТС входят (см. рис. 8): судовая штатная АИС (1 на рис. 8); панельный компьютер с сенсорным экраном (2 на рис. 8); преобразователь интерфейса; принтер (3 на рис.8); блок питания; специализированное программное обеспечение.



Рис. 7. Аппаратура диспетчерского пункта  
Fig. 7. Control room equipment

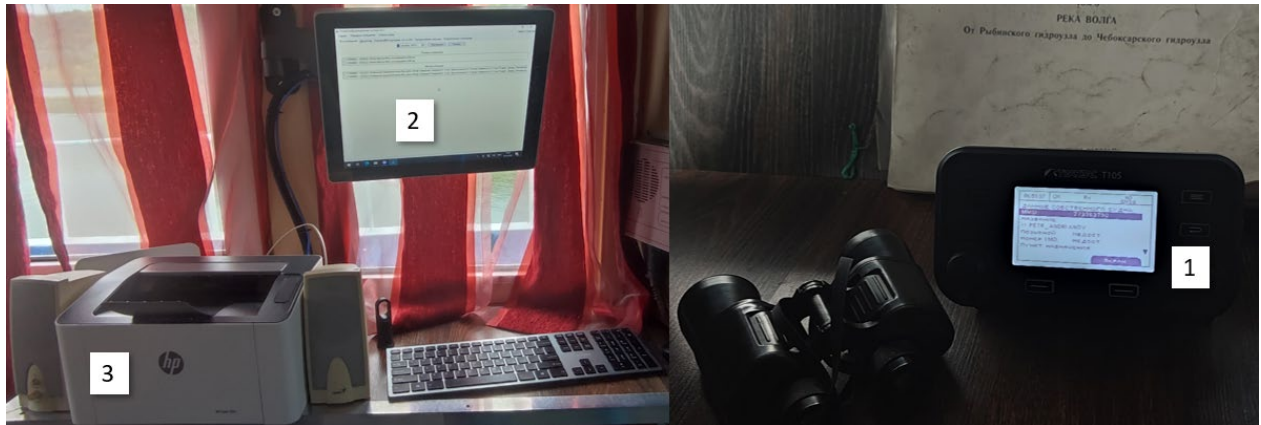


Рис. 8. Судовой терминал связи  
Fig. 8. Ship's communication terminal

АРМ «Диспетчер» позволяет:

- формировать, редактировать, архивировать и осуществлять рассылку метеосообщений, навигационной (путевой) информации, сводок по уровням воды, ледовые сообщения, сообщений по безопасности, сообщений о расстановке природоохранных объектов и пунктах комплексного обслуживания флота, сообщений, касающихся безопасности плавания на ВВП, разрешений/запретов на выход судна на регулируемый участок как в широкоэвентральном, так и в адресном режиме;
- осуществлять передачу как по расписанию, так и в произвольные моменты времени;
- принимать и архивировать сообщения с СТС в широкоэвентральном и адресном формате;
- получать и архивировать динамическую, статическую и рейсовую информацию (сообщения №3 и №5 судовых АИС) с судов в зоне действия станции АИС диспетчерского пункта;
- распечатывать весь объем принятой и переданной информации.

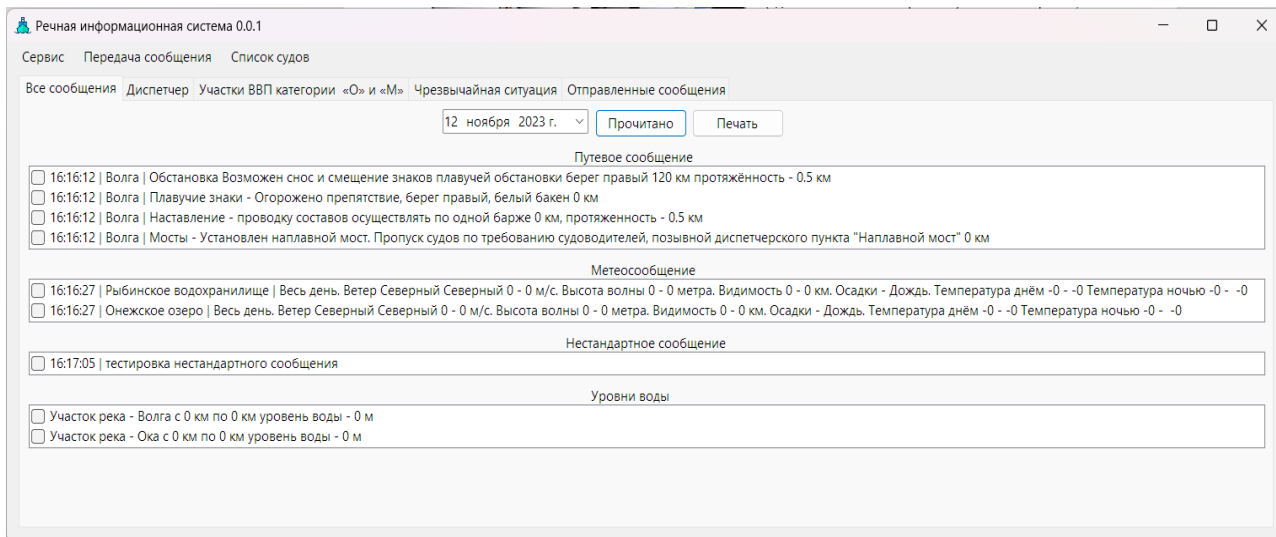
Судовой терминал связи позволяет:

- принимать, архивировать, распечатывать все сообщения АРМ «Диспетчер» и СТС других судов;
- формировать, редактировать, архивировать и осуществлять передачу сообщений о повреждении, неисправности или отсутствии знаков навигационного ограждения, сообщений о

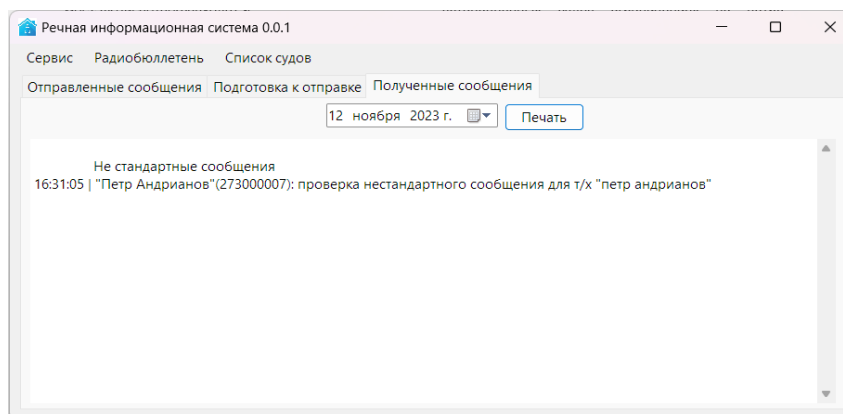
транспортных происшествиях, сообщений о загрязнении водной среды, сообщений по эпидемиологической обстановке, сообщений об установленных судно ограничениях по ветроволновому режиму и ледовым условиям, запросов разрешений на продолжения движения, докладов о прохождении участков «О» или «М», сообщений о чрезвычайных ситуациях в адресном режиме;

– формировать, редактировать, архивировать и осуществлять передачу сообщений на СТС других судов в адресном формате.

Пример полученного на судне радиобюллетеня (один из возможных вариантов) показан на рис. 9, пример судового сообщения – на рис. 10.



**Рис. 9. Пример радиобюллетеня**  
*Fig. 9. An example of a radio bulletin*



**Рис. 10. Пример судового сообщения**  
*Fig. 10. An example of a ship's message*

### Заключение

Полученные результаты позволяют сделать однозначный вывод о целесообразности использования каналов АИС для передачи диспетчерской и технологической информации в составе речных информационных систем. Такая система позволит на Единой глубоководной системе Европейской части России гарантировать доставку информации в направлении судно-берег и берег-судно в любой точке ВВП, а также обеспечит снижение нагрузки на судоводителя. При этом передача дополнительной информации не окажет заметного воздействия на загрузку сети АИС на ВВП.

Предложенная система автоматизированного обмена диспетчерской информацией по каналам АИС на внутренних водных путях обеспечивает обмен информацией в направлениях судно-берег, берег-судно и судно-судно в объеме, регламентируемом «Порядком диспетчер-



ского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации» (Приказ Министерства транспорта № 47 от 01 марта 2010 г.).

#### Список источников:

1. Базылев А.В., Кузьмичев И.К., Плющаев В.И. Судовой терминал связи для речной информационной системы // Транспортное дело России. – 2023. – №2(165). – С. 239-241.
2. «Порядок диспетчерского регулирования движения судов на внутренних водных путях Российской Федерации». Приказ Министерства транспорта № 47 от 01 марта 2010 г.
3. Плющаев В.И. Система контроля и передачи судовых технологических параметров береговым службам // Автоматизация и современные технологии. – 2012. – №2. – С. 37-39.
4. Корнев А.Б., Плющаев В.И. Пути повышения эффективности использования АИС на внутренних водных путях за счет организации передачи по ее каналам дополнительной информации. Речной транспорт (XXI век). – 2012. – №5. – С. 38-42.
5. Временное руководство по использованию автоматической информационной (идентификационной) системы (АИС) на судах и в береговых службах. Министерство транспорта Российской Федерации. – Москва. – 2002. – 58 с.
6. IALA technical clarifications on recommendation ITU-R M.1371-1. Edition 1.3. December 2002.
7. Recommendation ITU-R M.1371-5. Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band. – International Telecommunication Union. – Geneva, 02. 2014.

#### Информация об авторах:

##### **Базылев Александр Владимирович**

аспирант, Волжский государственный университет водного транспорта, <http://orcid.org/0000-0001-6686-8628>

##### **Плющаев Валерий Иванович**

доктор технических наук, профессор, Волжский государственный университет водного транспорта, <http://orcid.org/0000-0001-6120-3782>

#### References:

1. Bazylev A.V., Kuzmichev I.K., Plyushchaev V.I. Ship's Communication Terminal for the River Information System. Transport Business of Russia. 2023;2(165):239-241.
2. Procedure for Dispatching Regulation of Vessel Traffic on Inland Waterways of the Russian Federation. Order of the Ministry of Transport, no. 47; Mar 01, 2010.
3. Plyushchaev V.I. The Control and Transfer System of the Ship Technological Parameters to Shore Services. Automation and Modern Technologies. 2012;2:37-39.
4. Kornev A.B., Plyushchaev V.I. About Possibility of Expansion of Information Content Transmitting by AIS Communication Bus. River Transport (XXI Century). 2012;5:38-42.
5. Temporary Guidelines for Using Automatic Information (Identification) Systems (AIS) on Ships and in Coastal Services. Ministry of Transport of the Russian Federation. Moscow; 2002.
6. IALA Technical Clarifications on Recommendation ITU-R M.1371-1. 1.3 ed.; 2002.
7. Recommendation ITU-R M.1371-5. Technical Characteristics for an Automatic Identification System Using Time Division Multiple Access in the VHF Maritime Mobile Frequency Band. Geneva: International Telecommunication Union; 2014.

#### Information about the authors:

##### **Bazylev Alexander Vladimirovich**

Postgraduate student, Volga State University of Water Transport, <http://orcid.org/0000-0001-6686-8628>

##### **Plyushchaev Valery Ivanovich**

Doctor of Technical Sciences, Professor of Volga State University of Water Transport, <http://orcid.org/0000-0001-6120-3782>

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 17.06.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 16.09.2024.**

**The article was submitted 17.06.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 16.09.2024.**

**Рецензент** – Федяева Г.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Fedyaeva G.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.62

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-50-58

## МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕДИЦИНСКИМИ ДАННЫМИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Эмилия Владимировна Гегер<sup>1✉</sup>, Ирина Романовна Козлова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Брянский клинично-диагностический центр, г. Брянск, Россия

<sup>2</sup> Брянский государственный инженерно-технологический университет, г. Брянск, Россия

<sup>1</sup> emiliya\_geger@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0393-4274>

<sup>2</sup> irenk02lova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6519-8834>

**Аннотация.** Актуальность исследования обусловлена использованием цифровизации и методов обработки данных в здравоохранении как связующего звена, повышающего эффективность организационной системы, которой является медицинское учреждение. Очевидна целесообразность использования медицинских данных, накопленных в информационных системах лечебных учреждений, для их обработки и выработки управленческих решений. Рассмотрены методы математической статистики, задача которых – сравнить средние значения количественных и бинарных выборок для того, чтобы определить связь между показателями клинического и биохимического анализа крови и профессиональной заболеваемостью. Медицинские данные были деперсонализированы. Апробирована методика, позволяющая привести выборки к однородности по возрасту и полу. Выполненный анализ определил статистически значимую разницу в группах обследуемых лиц по уровню показателей клинического анализа крови и биохимии. Ожидается, что результаты, полученные в ходе исследования, дадут более точную оценку риска профессиональной заболеваемости. Рекомендованный метод поможет усовершенствовать методику обработки данных, а также будет способствовать совершенствованию управленческих решений в медицине.

**Ключевые слова:** организационная система, статистические методы, бинарные выборки, цифровизация, медицинская норма

**Для цитирования:** Гегер Э.В., Козлова И.Р. Методы управления медицинскими данными для повышения эффективности принятия решений // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 50-58. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-50-58.

Original article

Open Access Article

## METHODS OF MEDICAL DATA MANAGEMENT TO IMPROVE DECISION MAKING EFFICIENCY

Emilia V. Geger<sup>1✉</sup>, Irina R. Kozlova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bryansk Clinical and Diagnostic Centre, Bryansk, Russia

<sup>2</sup> Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk, Russia

<sup>1</sup> emiliya\_geger@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0393-4274>

<sup>2</sup> irenk02lova@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6519-8834>

**Abstract.** The relevance of the study is due to using digitalization and data processing methods in healthcare as a link that increases the efficiency of the organizational system, which is a medical institution. The feasibility of using medical data accumulated in the information systems of medical institutions for their processing and development of management decisions is obvious. The methods of mathematical statistics are considered, the task of which is to compare the average values of quantitative and binary samples to determine the relationship between the indicators of clinical and biochemical blood tests and occupational morbidity. Medical data are depersonalized. The paper tests a technique that makes it possible to bring the samples to homogeneity by age and gender. The performed analysis determines a statistically significant difference in the groups of the surveyed in terms of clinical blood test and biochemistry indicators. One expects that the results obtained during the study will provide a more accurate assessment of having the risk of occupational diseases. The recommended method will help improve the data processing methodology, and contribute to advancing management decisions in medicine.

**Keywords:** organizational system, statistical methods, binary samples, digitalization, medical norm

**For citation:** Geger E.V., Kozlova I.R. Methods of Medical Data Management to Improve Decision Making Efficiency. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 50-58. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-50-58.

---

## Введение

В современных условиях лечебные учреждения ставят своей целью повышение конкурентоспособности и качества медицинских услуг. Для достижения данных целей необходимо повысить эффективность управления деятельностью медицинских учреждений, где цифровизации, как фактору повышения качества услуг, выделяется решающая роль [1].

Организационная система, которая в последнее время приобретает все большую популярность, состоит из совокупности элементов, связей и отношений, определяющих цели и функции организации, а также ее структуру и управление. Управление в организационных системах представляет собой процесс, состоящий из множества компонентов, в том числе, реализацию стратегии, развитие бизнес-процессов, управление как персоналом, так и информационными ресурсами, контроль и анализ полученных результатов. Разработка системного подхода дает возможность раскрывать объективные законы и закономерности, а также применять выявленные законы и закономерности для формирования моделей и новых систем, в том числе, для изучения зависимости переменных между собой.

Системное описание дает возможность сравнивать различные существующие системы по аналогичным признакам. Современные организационные системы применяют цифровые технологии и системы как соединяющую основу, повышающую эффективность организационной системы [2, 3].

В рамках современной теории управления востребованность представления медицинской организации как организационной социально-экономической системы обуславливает необходимость систематизации управления с позиций целевого воздействия, которое в дальнейшем приводит к оптимизации лечебных процессов. Управление способствует преобразованию данных посредством сбора и обработки информации и выработке управленческих решений, а также их реализации.

Большой круг задач, которые необходимо решать, изучая данные информационных систем лечебных учреждений, особенности их получения и обработки, показывает целесообразность усовершенствования различных подходов к расширению систем сбора и обработки медицинских данных [4, с.33; 5].

Особого внимания заслуживает внедрение информационных технологий для анализа данных в задачах превентивной и персонализированной медицины в целях сохранения здоровья населения.

Для выявления причинно-следственных связей развития производственных заболеваний необходима разработка новых методов статистического анализа и аналитического инструмента на основе медицинских данных. Это позволит своевременно оценить возможные риски и их негативные последствия, выбрать дальнейшую стратегию работы, а также решать управленческие и организационные вопросы.

Целью работы является использование цифровых технологий и аналитического инструментария, позволяющие определять значимость влияния различных комплексов вредных производственных факторов на заболеваемость и решать управленческие вопросы в здравоохранении.

## Материалы и методы исследования

Для анализа в работе были использованы результаты клинических исследований обследованных лиц, на которых в процессе их трудовой деятельности воздействуют неблагоприятные производственные факторы: электромагнитные излучения (далее I группа или ЭМИ, 108 чел.), шум и вибрация (далее II группа или ШИВ, 149 чел.). В качестве контроля использовались лабораторные данные условно-здоровых лиц: служащих офисных организаций, работа которых по результатам спецоценки труда не связана с вредными производственными факторами – III группа или ТАМ, 251 чел. и лиц, принадлежащих к группе IV или АДМ, 147 чел.

Согласно Приказу МЗСР РФ [7] выполненные анализы входят в обязательный перечень исследований при проведении медицинских осмотров у лиц, занятых на работах с вредными и опасными условиями труда и являются основой диагностики большинства из известных заболеваний.

Исследования выполнены согласно федеральному законодательству Российской Федерации и способствуют осуществлению функций в сфере охраны здоровья работающих граждан [6, 7].

Для оценки влияния негативных производственных факторов на показатели клинического и биохимического анализа крови анализируемых выборок мы сравнивали средние значения количественных (включающих числовые значения показателей крови) и бинарных (отражающие ответ: да/нет, 1/0 и т.д.) выборок.

Для получения бинарных выборок сопоставлялись числовые значения с интервалом верхней и нижней границ нормы, принятые в медицинских исследованиях. Предполагалось, что бинарные данные являются более адекватными, чем результаты полученных измерений по методикам, которые используют большее число градаций. Настоящий метод замены количественных данных на бинарные мы описывали в более ранних наших работах [8, с. 24; 9, с. 278-279; 10, с. 80-82; 11, с. 166-169; 12, с. 90-92].

В данной работе мы предложили привести к однородности изначально неоднородные по ряду признаков количественные выборки, расширив анализируемые выборки.

С целью сопоставления бинарных выборок применяли формулу Бернулли и теорему Муавра-Лапласа, которые подробно описаны в [13].

Ниже представлена формула для критерия значимости разницы:

$$Q = \frac{p_1^* - p_2^*}{\sqrt{\frac{p_1^*(1-p_1^*)}{n_1} + \frac{p_2^*(1-p_2^*)}{n_2}}}, \quad (1)$$

где  $p_1^*$  и  $p_2^*$  – частоты появления бинарного значения «1» в сравниваемых выборках;  $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок.

Критерий Крамера-Уэлча (2) использовался нами как критерий значимости разницы средних значений нескольких количественных выборок [13, 14]. В данном исследовании объемы выборок не являются малыми, распределение возраста работников заранее неизвестно, использование критерия Крамера-Уэлча представляется целесообразным.

При имеющих место в наших случаях объемах выборки распределение Стьюдента, используемое в данном критерии, с высокой точностью совпадает со стандартным нормальным распределением [14], и критическое значение критерия Крамера-Уэлча представляет собой просто его соответствующий квантиль. Принимая уровень значимости  $\alpha = 0,05$ , получим критическое значение  $K = 1,96$ , которое можем использовать далее в расчетах.

Критерий Крамера-Уэлча обладает примерно такой же мощностью, как и другие приближенные критерии, основанные на распределении Стьюдента, и он также при рассматриваемых объемах выборок не очень сильно зависит от нормального распределения.

$$K = \frac{1}{s}(\bar{x} - \bar{y}), \quad (2)$$

где  $\bar{x}$  – средн. арифметич. значение возраста (выборка I);  $\bar{y}$  – средн. арифметич. значение возраста (выборка ВО, включающая выборки II, III и IV);  $s$  – исправленная оценка дисперсии разности выборочных средних рассматриваемых выборок.

Медицинские данные подвергались деперсонализации, что соответствует законодательству РФ. Выборки состояли из данных результатов исследования клинического и биохимического анализа крови, а также бинарных значений пола (мужской/женский) и количественных значений возраста.

С объединенной группой сравнивались лица, входившие в каждую из четырех групп. Группы формировались в следующем виде: все остальные, кроме группы ЭМИ (ВОЭ); все остальные, кроме группы ШИВ (ВОШ); все остальные, кроме группы ТАМ (ВОТ) и все остальные, кроме группы АДМ(ВОА).

Результаты исследований у лиц из сформированных выборок проверялись на однородность по признакам пола посредством сравнения бинарных выборок (1) и возраста с помощью критерия Крамера-Уэлча (2).

На рис. 1 изображена последовательность корректировки выборок. Результаты проведенных расчетов представлены в табл. 1 – 5.

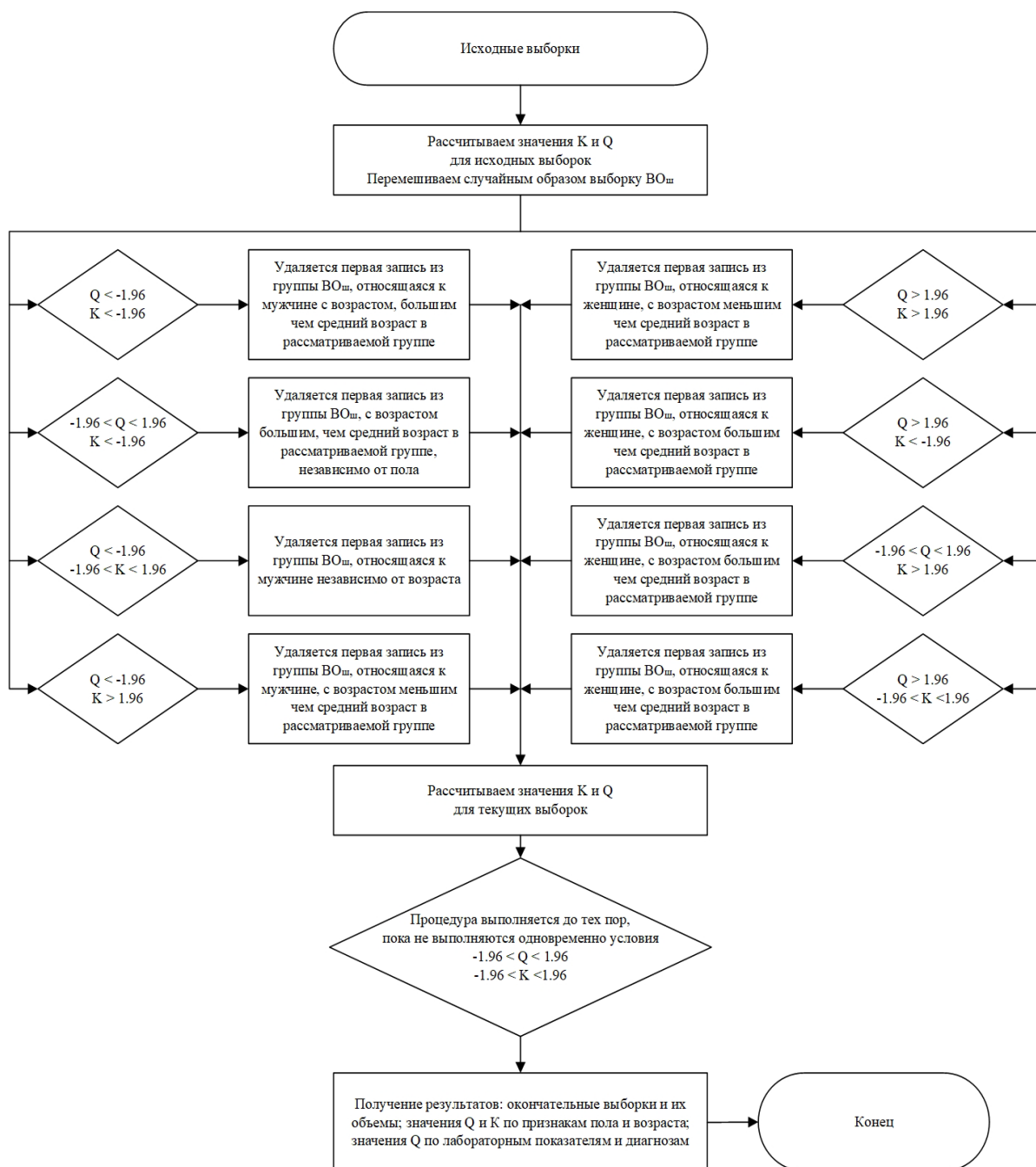


Рис. 1. Схема последовательности корректировки выборок  
 Fig. 1. Sample adjustment sequence diagram

## Результаты исследования и их обсуждение

Проверка однородности групп по половым и возрастным признакам и соответствующие результаты приведены в табл. 1. Там же представлена структура по половому и возрастному составу как в первоначальных выборках, так и после их корректировки.

Также в табл. 1 представлены результаты после сравнения значений возраста (по критерию  $K$ ) и бинарных выборок по признаку пола (по критерию  $Q$ ) до корректировки выборок и после нее. В правых столбцах табл. 1 показаны результаты корректировки, проводимой в связи с неоднородностью групп ШИВ, ЭМИ, ТАМ, АДМ с группами ВО.

В табл. 2 – 5 продемонстрированы результаты сравнения бинарных выборок по критерию  $Q$ . Также в табл. 2 – 5 показаны окончательные результаты сравнения средних значений клинических исследований по критерию Крамера-Уэлча для исходных и скорректированных выборок. Результатами в данном случае являются расчетные значения критерия.

Таблица 1

## Результаты корректировки выборок

Table 1

## Results of sample adjustments

Группы		Объем исх. выборки	Средн. возраст исх. выборки.	Структура по половому составу исх. выборки м/ж	$Q_{исх}$	$K_{исх}$	Объем скорректир. выборки.	Средн. возраст скорректир. выборки.	Половой состав исходной выборки м/ж	$Q_k$	$K_k$
ЭМИ/ВОЭ	ЭМИ	108	43,38	10,31	11,01	1,065	106	42,38	106/0	0	1,93
	ВОЭ	548	43,63				407	44,76	408/0		
ШиВ/ВОШ	ШиВ	149	52,05	6,73	6,72	11,120	149	52,65	139/10	1,83	1,89
	ВОШ	506	42,06				137	49,43	117/18		
АДМ/ВОА	АДМ	147	41,02	-14,94	-15,94	-2,980	147	41,04	48/100	-1,89	-1,87
	ВОА	508	44,44				73	43,44	34/40		
ТАМ/ВОТ	ТАМ	251	40,98	5,56	-5,55	-5,880	251	41,05	223/28	-1,93	-1,87
	ВОТ	405	45,27				277	42,74	231/47		

Таблица 2

Полученные значения по критериям  $Q$  и Крамера-Уэлча для группы ЭМИ

Table 2

The values obtained based on the  $Q$  and Kramer-Welch criteria for the EMI group

Группы	Показатели клинического анализа крови									Биохимические показатели	
	Уровень гемоглобина	Количество лейкоцитов	Количество лимфоцитов	Количество эритроцитов	Количество моноцитов	Количество тромбоцитов	Количество эозинофилов	Уровень гематокрита	Скорость оседания эритроцитов	Общ. холестерин	Уровень глюкозы
Результаты расчета по критерию $Q$											
ЭМИ-ВО исх	-2,101	-0,345	3,361	5,137	7,054	1,820	8,799	-0,725	-0,185	-4,722	-0,461
ЭМИ-ВО кор	-2,506	-0,285	3,311	4,102	6,278	1,579	8,900	-2,105	-0,167	-4,924	-0,599
Результаты расчета по критерию Крамера-Уэлча											
ЭМИ-ВО исх	3,613	0,087	2,308	0,021	-5,809	-0,360	-7,066	-5,030	-0,618	2,445	2,638
ЭМИ-ВО кор	-0,993	-0,527	1,951	-3,634	-5,696	0,046	-8,113	-7,845	0,953	1,572	2,074
Объединенные результаты для группы ЭМИ											
ЭМИ-ВО исх	++	0 0	+ -	0 +	- +	0 -	- +	- 0	0 0	+ -	+ 0
ЭМИ-ВО кор	0 +	0 0	0 +	- +	++	0 0	- +	- +	0 -	0 -	+ 0

Таблица 3

Полученные значения по критериям  $Q$  и Крамера-Уэлча для группы ШиВ

Table 3

The values obtained according to the  $Q$  and Kramer-Welch criteria for the SHiV group

Группы	Показатели клинического анализа крови									Биохимические показатели	
	Уровень гемоглобина	Количество лейкоцитов	Количество лимфоцитов	Количество эритроцитов	Количество моноцитов	Количество тромбоцитов	Количество эозинофилов	Уровень гематокрита	Скорость оседания эритроцитов	Общ. холестерин	Уровень глюкозы
Результаты расчета по критерию $Q$											
ШиВ-ВО исх	0,425	1,479	-0,353	5,460	-3,001	1,612	-4,002	0,678	-1,81	1,139	1,286
ШиВ-ВО кор	0,211	1,011	-0,570	4,625	-1,419	-0,75	-2,772	0,433	-0,97	0,889	1,069
Результаты расчета по критерию Крамера-Уэлча											
ШиВ-ВО исх	3,048	3,889	-3,015	0,642	0,652	-1,37	3,405	4,200	-3,43	0,833	0,697
ШиВ-ВО кор	-0,092	2,327	-2,275	-1,152	1,724	0,87	3,330	1,797	-2,62	-0,93	-1,630
Объединенные результаты для группы ЭМИ											
ШиВ-ВО исх	+ 0	++	- 0	0 +	0 0	0 0	+ 0	+ 0	- 0	0 0	0 +
ШиВ-ВО кор	0 0	+ 0	- 0	0 +	0 0	0 0	+ -	0 0	- 0	0 0	0 0

Таблица 4

Полученные значения по критериям  $Q$  и Крамера-Уэлча для группы ТАМ

Table 4

*The values obtained according to the  $Q$  and Kramer–Welch criteria for the TAM group*

Группы	Показатели клинического анализа крови									Биохимические показатели	
	Уровень гемоглобина	Количество лейкоцитов	Количество лимфоцитов	Количество эритроцитов	Количество моноцитов	Количество тромбоцитов	Количество эозинофилов	Уровень гематокрита	Скорость оседания эритроцитов	Общ. холестерин	Уровень глюкозы
Результаты расчета по критерию $Q$											
ТАМ-ВО исх	6,458	-0,889	1,413	6,738	3,823	0,410	3,001	6,030	0,439	2,013	-2,466
ТАМ-ВО кор	2,988	-1,678	-0,984	-14,57	-2,707	0,201	-5,778	2,014	0,545	4,178	-1,782
Результаты расчета по критерию Крамера-Уэлча											
ТАМ-ВО исх	2,467	-1,715	-2,122	-14,11	-3,411	0,341	-5,601	0,631	0,850	4,409	-1,541
ТАМ-ВО кор	3,744	-1,638	1,277	4,000	3,730	0,678	2,713	4,317	1,809	1,824	-1,903
Объединенные результаты для группы ЭМИ											
ТАМ-ВО исх	++	0 0	0 0	+-	+-	0 0	+-	+ 0	0 0	0 +	- 0
ТАМ-ВО кор	++	0 +	0 -	++	+-	0 +	++	+ 0	0 +	0 +	0 0

Таблица 5

Полученные значения по критериям  $Q$  и Крамера-Уэлча для группы АДМ

Table 5

*The values obtained based on the  $Q$  and Kramer–Welch criteria for the ADM group*

Группы	Показатели клинического анализа крови									Биохимические показатели	
	Уровень гемоглобина	Количество лейкоцитов	Количество лимфоцитов	Количество эритроцитов	Количество моноцитов	Количество тромбоцитов	Количество эозинофилов	Уровень гематокрита	Скорость оседания эритроцитов	Общ. холестерин	Уровень глюкозы
Результаты расчета по критерию $Q$											
АДМ-ВО исх	-2,131	-0,426	-1,437	0,979	-4,93	-2,229	0,780	-2,68	0,257	-2,08	-0,53
АДМ-ВО кор	-0,929	-0,747	-0,615	2,639	-0,86	-1,935	2,878	-0,04	-0,638	-2,42	0,87
Результаты расчета по критерию Крамера-Уэлча											
АДМ-ВО исх	-12,55	-3,308	-1,187	-8,333	2,084	1,227	-0,906	-5,53	2,899	-6,65	-0,57
АДМ-ВО кор	-3,333	-1,504	1,802	-2,410	1,686	0,107	-0,771	-0,76	-0,940	-2,63	0,996
Объединенные результаты для группы ЭМИ											
АДМ-ВО исх	--	- 0	0 0	- 0	+-	0 -	0 0	--	+ 0	--	0 0
АДМ-ВО кор	- 0	0 0	0 0	+	0 0	0 -	0 +	0 0	0 0	--	0 0

Отметим, что приведены они с учетом знака: знак «-» означает, что среднее значение для анализируемой выборки меньше, чем для остальной группы. Если знак «-» отсутствует, то соответственно – больше.

Наличие второго знака «+» в табл. 2 – 5 говорит о значимости зависимости показателей клинического анализа крови от условий труда.

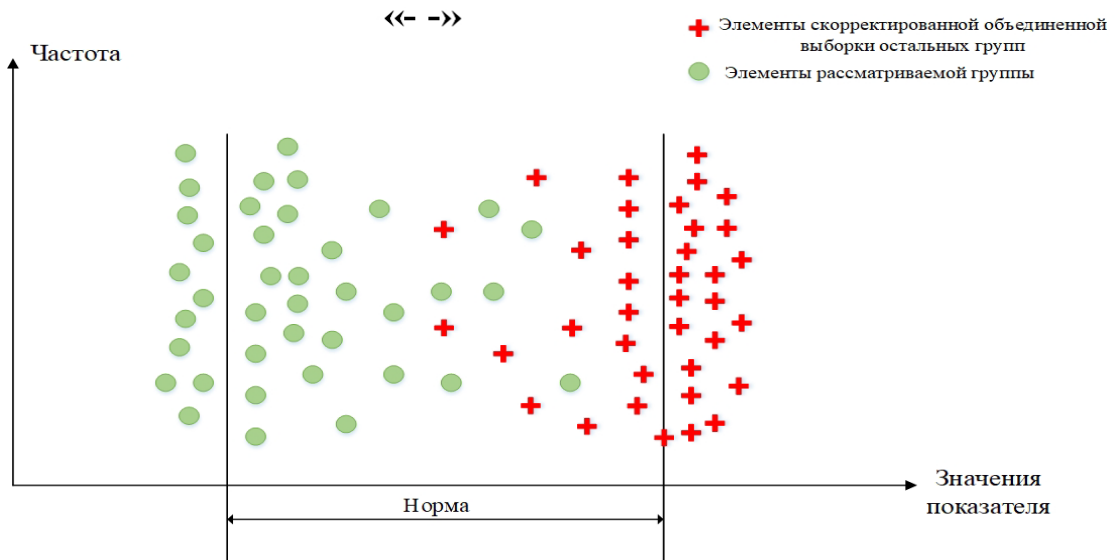
Критические значения по критериям  $Q$  и Крамера-Уэлча брались равными 1,96 ( $\alpha = 0,05$ ).

В объединенных таблицах знаки «+» и «-» означают знак разности между средними в случае статистически значимой разницы, о ее незначимости говорит знак «0».

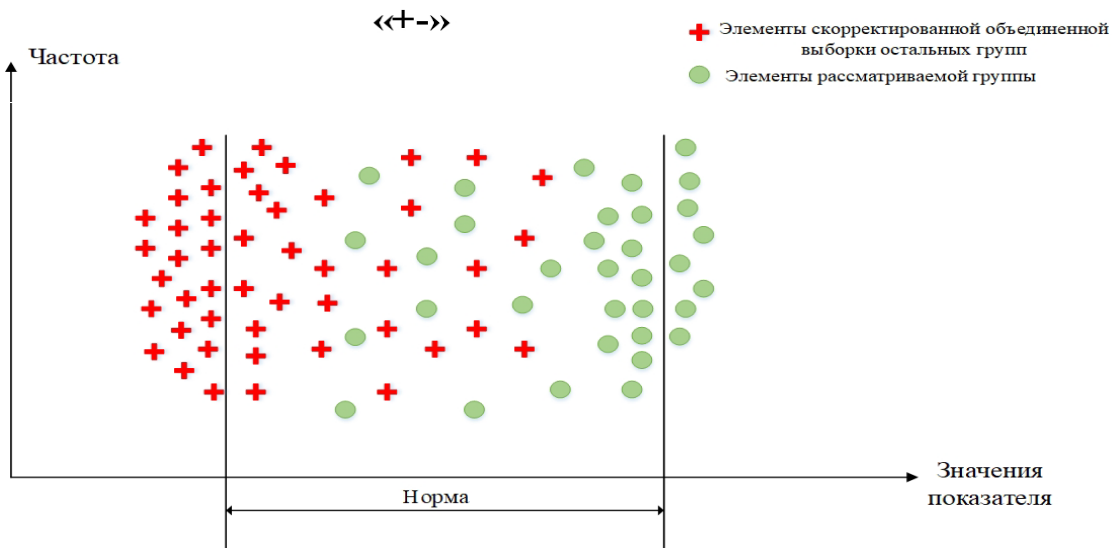
Были рассмотрены 9 возможных различных сочетаний знаков: ++, --, +-, -+, +0,-0, 0+, 0-, 00. Следует отметить, что эти сочетания встречаются в табл. 2 – 5 с разной частотой.

Для наглядности пояснения результатов представлены схематичные рисунки, отражающие сочетания знаков.

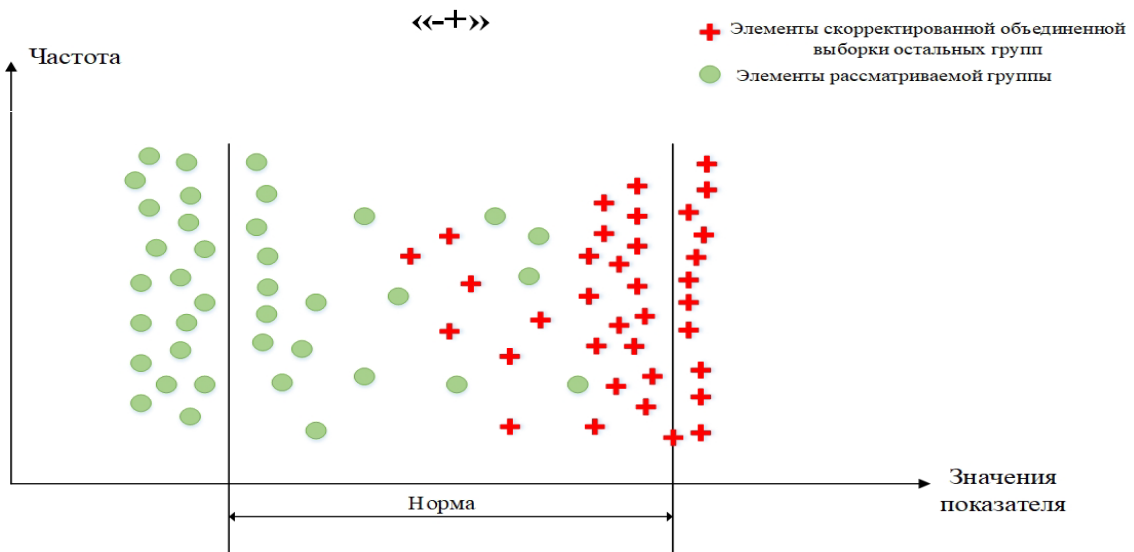
На рис. 2 – 4 отражены возможные сочетания знаков.



**Рис. 2. Сочетание знаков «← -»»**  
**Fig. 2. A combination of signs «← -»»**



**Рис. 3. Сочетание знаков «← +»»**  
**Fig. 3. A combination of signs «← +»»**



**Рис. 4. Сочетание знаков «← +»»**  
**Fig. 4. A combination of signs «← +»»**



## Заключение

В настоящей статье предлагается новый подход к анализу медицинских данных, накопленных в информационных системах учреждений здравоохранения. Данный метод базируется на установлении статистически значимой разности тех бинарных выборок, которые подлежат сравнению.

Использование методологии сравнение бинарных выборок для изначально количественных данных представляет значительный интерес.

Определены показатели клинического анализа крови, которые чаще всего выходят за пределы нормативных значений. Данные, полученные по параметрическим методам и по методу бинарных выборок, значительно чаще совпадают в случаях статистически незначимой зависимости.

В случае неоднородности анализируемых групп по возрастно-половым признакам следует выполнять корректировку исходных выборок для того, чтобы достичь однородности по обоим признакам. Для этого может быть использована методика, описываемая выше.

Целесообразным представляется проведение дополнительного исследования с целью оптимизации алгоритма предложенной методики по критерию максимума тех записей, которые остаются после корректировки.

Следует проработать возможность дополнительного исследования, направленного на проверку соответствия распределения количественных показателей крови нормальному закону. Также необходимо провести дополнительное аналогичное исследование с применением непараметрических методов, позволяющих сопоставлять количественные выборки.

Технология построения систем обработки медицинских данных и методы их анализа необходимо расширять, включая новые средства моделирования.

Метод сравнения бинарных выборок можно рекомендовать для решения ряда задач анализа данных в здравоохранении.

### Список источников:

1. Программа «Цифровая экономика РФ», утв. протоколом заседания президиума Совета при Президенте РФ по стратегич. развитию и нац. проектам от 4.06.2019 г. №7.
2. Бардюжа А.В., Волошина О.В. Современное управление организационными системами: учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2021. – 376 с.
3. Сальников Е.А. Управ-е в организационных системах / Фин. ун-т при Правительстве РФ, Москва, Россия.
4. Карпов О.Э., Субботин С.А., Шишканов Д.В. Использование медицинских данных для создания систем поддержки принятия решений // Врач и информационные технологии. 2019. – №2. – С. 11-18.
5. Geger E., Podvesovskii A., Kuzmin S., Tolstenok V. Methods for the Intelligent Analysis of Biomedical Data. GraphiCon 2019. Computer Graphics and Vision Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision (Sep. 2019), Vol. 2485. 308-311.
6. ФЗ от 27.07.2006 № 152-ФЗ (ред. от 06.02.2023) «О персональных данных».
7. Приказ МЗСР РФ от 12.04.2011 № 302 н (ред. от 01.07.2020) «Об утв. перечней вредных и (или) опасных производ. факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварит. и периодич. медосмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварит. и периодич. медосмотров (обследований)».

### References:

1. The Digital Economy of the Russian Federation Program, no 7; Jun 6, 2019.
2. Bardyuzha A.V., Voloshina O.V. Modern Management of Organizational Systems. Rostov-on-Don: Phoenix; 2021.
3. Salnikov E.A. Management in Organizational Systems. In: Proceedings of the 16th International Scientific Conference on Managing Large-Scale Systems Development (MLSD'2023); 2023 Sep 26-Sep 28; Moscow: Institute of Control Sciences RAS; 2023. p. 885-892.
4. Karpov O.E., Subbotin S.A., Shishkanov D.V. Medical Data Usage to Create Medical Decision Support Systems. Medical Doctor and IT. 2019;2:11-18.
5. Geger E., Podvesovskii A., Kuzmin S., Tolstenok V. Methods for the Intelligent Analysis of Biomedical Data. In: Proceedings of the 29th International Conference on Computer Graphics and Vision GraphiCon 2019; 2019 Sep 23-Sep 29; Bryansk, vol. 2485. p. 308-311.
6. Federal Law of July 27, 2006 on Personal Data, no. 152-FZ; 2023.
7. Order of the Ministry of Health of the Russian Federation of April 12, 2011 On Approval of lists of harmful and (or) hazardous production factors and work, during the performance of which mandatory preliminary and periodic medical examinations (examinations) are carried out, and the Procedure for conducting mandatory preliminary and periodic medical examinations (examinations), no. 302 n; 2020.

8. Гегерь Э.В., Федоренко С.И., Евельсон Л.И. Разработка метода оценки риска профессиональной заболеваемости, основанного на статистике нечисловых данных // Перспективы науки. – 2017. – № 11(98). – С. 22-25.

9. Гегерь Э.В., Евельсон Л.И., Федоренко С.И., Козлова И.Р. Совершенствование методов обработки данных в информационных системах поддержки принятия управленческих решений // Современные наукоемкие технологии. – 2019. – № 12 (ч.2) Б. – С. 276-281.

10. Гегерь Э.В., Федоренко С.И., Евельсон Л.И., Козлова И.Р. Разработка метода оценки профессиональных заболеваний для создания информационной системы производственной безопасности // Вестник НЦ БЖД. – 2019. – №1 (39). – С. 79-87.

11. Гегерь Э.В., Козлова И.Р., Юркова О.Н., Евельсон Л.И. Методика сравнения бинарных выборок при анализе медицинских данных для принятия управленческих решений // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Информатика, вычислительная техника, управление. – 2020. – № 2(50) Т.9. – С. 164-170.

12. Евельсон Л.И., Гегерь Э. В., Козлова И. Р. Применение методов парного сравнения количественных и бинарных выборок в биомедицинских исследованиях с целью принятия управленческих решений // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2022. – № 2. – С. 87-96.

13. Орлов А.И. Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2006. – 671 с.

14. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

#### **Информация об авторах:**

##### **Гегерь Эмилия Владимировна**

доцент, доктор биологических наук, заведующая кабинетом статистики ГАУЗ «Брянский клинично-диагностический центр», профессор кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

##### **Козлова Ирина Романовна**

старший преподаватель кафедры Техносферная безопасность ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 30.07.2024; одобрена после рецензирования 10.10.2024; принята к публикации 28.10.2024.**

**The article was submitted 30.07.2024; approved after reviewing 10.10.2024; accepted for publication 28.10.2024.**

**Рецензент** – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

8. Geger E.V., Fedorenko S.I., Evelson L.I. Development of the Non-Numerical Data Statistics Method for Occupational Diseases Risk Assessment. Science Prospects. 2017;11(98):22-25.

9. Geger E.V., Evelson L.I., Fedorenko S.I., Kozlova I.R. Improvement of Data Processing Methods in Information Systems for Support of Administration of Decision-Making Decisions. Modern High Technologies. 2019; 2-12:276-281.

10. Geger E.V., Fedorenko S.I., Evelson L.I., Kozlova I.R. Developing of the Evaluation Method of Occupational Diseases for the Creation of Information System of Occupational Safety. Vestnik NTsBZhD. 2019;1(39):79-87.

11. Geger E.V., Kozlova I.R., Yurkova O.N., Evelson L.I. Methods for Comparing Binary Samples in the Analysis of Medical Data for Making Managerial Decisions. XXI Century: Resumes of the Past and Challenges of the Present Plus. 2020;2(50)-9:164-170.

12. Evelson L.I., Geger E.V., Kozlova I.R. Applying Methods of Twin Comparing Quantitative and Binary Samples in Biomedical Information Systems for Decision Making. Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics. 2022;2:87-96.

13. Orlov A.I. Applied Statistics. Moscow: Exam; 2006.

14. Kobzar A.I. Applied Mathematical Statistics for Engineers and Researchers. Moscow: Fizmatlit; 2006.

#### **Information about the authors:**

##### **Geger Emilia Vladimirovna**

Associate Professor, Doctor of Biological Sciences, Head of the Statistics Department of Bryansk Clinical and Diagnostic Centre, Professor at the Department of Technosphere Safety of Bryansk State Technical University

##### **Kozlova Irina Romanovna**

Senior Lecturer at the Department of Technosphere Safety of Bryansk State Engineering Technological University.

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.056.52

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-59-65

## ИЕРАРХИЧЕСКИЕ УРОВНИ КОНФИДЕНЦИАЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ПРОИЗВОДСТВА

Наталья Михайловна Кузнецова<sup>1</sup>, Татьяна Владимировна Карлова<sup>2</sup>,  
Александр Юрьевич Бекмешов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

<sup>2, 3</sup> Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> knm87@mail.ru

<sup>2</sup> karlova-t@yandex.ru

<sup>3</sup> b-a-y-555@yandex.ru

**Аннотация.** Целью научной работы является создание методики построения иерархических уровней конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия в зависимости от этапов жизненного цикла производства. Основу методики составляет модель Белла-Лападулы «не писать ниже, не читать выше», применяемая поэтапно к жизненному циклу производства. Новизной работы является предложенная креативная концепция использования модели разграничения доступа к информационным ресурсам промышленного предприятия относительно этапов жизненного цикла производства. Результатом исследования являются рекомендации по применению модели Белла-Лападулы при построении иерархических уровней конфиденциальности информационных ресурсов. При этом иерархичность уровней определяется согласно этапам жизненного цикла.

**Ключевые слова:** автоматизация, конфиденциальность, жизненный цикл производства, защита информации, информационная безопасность

**Для цитирования:** Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Иерархические уровни конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия в зависимости от этапов жизненного цикла производства // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 59-65. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-59-65.

Original article

Open Access Article

## HIERARCHICAL LEVELS OF CONFIDENTIALITY OF INDUSTRIAL ENTERPRISES' INFORMATION RESOURCES DEPENDING ON STAGES OF THE PRODUCTION LIFE CYCLE

Natalia M. Kuznetsova<sup>1</sup>, Tatyana V. Karlova<sup>2</sup>, Alexander Yu. Bekmeshov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

<sup>2, 3</sup> Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1</sup> knm87@mail.ru

<sup>2</sup> karlova-t@yandex.ru

<sup>3</sup> b-a-y-555@yandex.ru

**Abstract.** The aim of the work is to create a methodology for constructing hierarchical levels of confidentiality of an industrial enterprise's information resource depending on stages of the production life cycle. The base of the methodology is the Bell-Lapadula model "do not write below, do not read above", applied in stages to the production life cycle. The novelty of the work is the proposed creative concept of using the model of access control to the industrial enterprise's information resources in relation to the stages of the production life cycle. The result of the study is recommendations for applying the Bell-Lapadula model in constructing hierarchical levels of information resource confidentiality. In this case, the hierarchy of levels is determined according to the stages of the life cycle.

**Keywords:** automation, confidentiality, production life cycle, information protection, information security

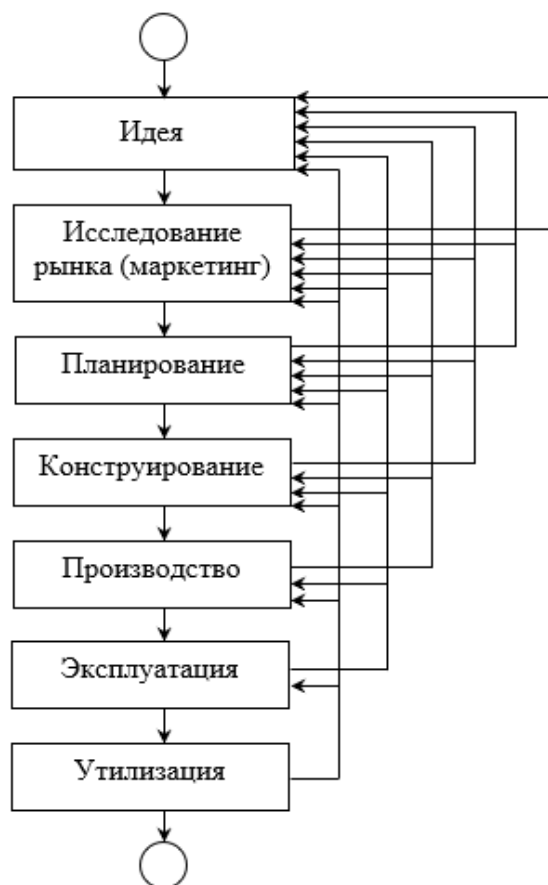
**For citation:** Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Hierarchical Levels of Confidentiality of Industrial Enterprises' Information Resources Depending on Stages of the Production Life Cycle. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 59-65. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-59-65.

## Введение

Современные промышленные предприятия сталкиваются с задачей обеспечения высокого уровня конфиденциальности информационных ресурсов [1 – 4]. Однако при этом важно соблюдать баланс «цена-качество» и при выборе средств защиты не заходить за рамки бюджета. Статья посвящена решению задачи рационального распределения средств обеспечения конфиденциальности информационных ресурсов в зависимости от этапа жизненного цикла производства.

### Исследование возможных причин инцидентов информационной безопасности. Анализ жизненного цикла производства продукции промышленного предприятия

Жизненный цикл (ЖЦ) производства продукции промышленного предприятия состоит из основных этапов, представленных на рис. 1 [5 – 9].



**Рис. 1. Основные этапы ЖЦ производства промышленного предприятия**  
*Fig. 1. Main stages of life cycle of production of an industrial enterprise*

Согласно рис. 1, ЖЦ производства состоит из последовательности этапов, начиная с идеи и заканчивая утилизацией. При этом каждый этап (кроме этапа идеи) имеет обратные связи со всеми предыдущими этапами. Данные обратные связи позволяют вносить изменения, в том числе в процессы управления ресурсами, что обеспечивает своевременную минимизацию и исправление ошибок.

При этом цена ошибки (или дефекта) является наиболее высокой на начальных этапах ЖЦ. Это связано, в первую очередь, с уже затраченными материальными, трудовыми и информационными ресурсами предприятия на последующих этапах ЖЦ [5 – 10].

## Иерархические уровни конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия

Наиболее популярной моделью градации уровней конфиденциальности является модель Белла-Лападулы. Схема Белла-Лападулы для двух уровней конфиденциальности представлена на рис. 2, для нескольких уровней – на рис. 3.

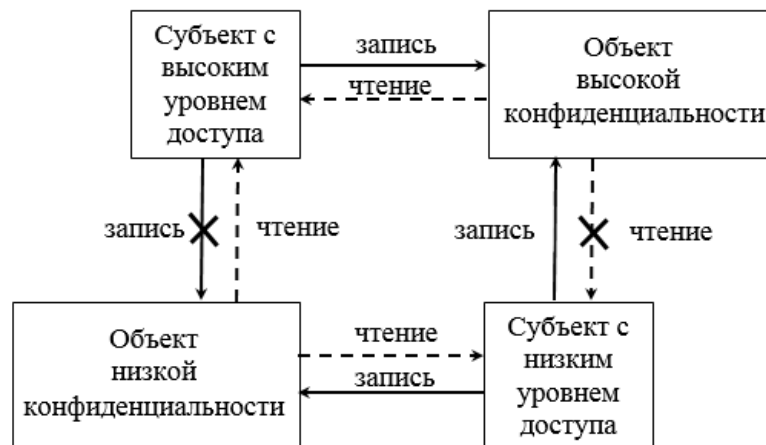


Рис. 2. Модель Белла-Лападулы для двух уровней конфиденциальности [7, 11]  
 Fig. 2. Bell-Lapadula model for two levels of privacy [7, 11]



Рис. 3. Модель Белла-Лападулы для  $N$  уровней конфиденциальности [12]  
 Figure 3. Bell-Lapadula model for  $N$  levels of privacy [12]

В модели разграничения доступа задействованы:

- субъекты с высоким и низким уровнями доступа – работники предприятия;
- объекты с низкой и высокой конфиденциальностью – единицы информационных ресурсов предприятия.

Согласно рис. 2, субъект с высоким уровнем доступа имеет право:

- производить запись (вносить изменения) в объект высокой конфиденциальности;
- читать содержимое объекта высокой конфиденциальности;
- читать содержимое объекта низкой конфиденциальности.

Производить запись в объект с низкой конфиденциальностью субъект с высоким уровнем доступа не имеет права, так как таким образом он может внести более конфиденциальные сведения в объект, и тем самым повысить уровень конфиденциальности объекта.

Субъект с низким уровнем доступа имеет право:

- производить запись («дозапись») в объект высокой конфиденциальности;
- производить запись («дозапись») в объект низкой конфиденциальности;
- читать содержимое объекта низкой конфиденциальности.

Читать содержимое объекта более высокой конфиденциальности субъект с низким уровнем доступа не имеет права. Таким образом модель Белла-Лападулы определяется выражением «Не писать ниже, не читать выше».

Согласно рис. 3, в рассматриваемой системе существует  $N$  уровней конфиденциальности ресурсов, и  $N$  уровней доступа к ним.

Наиболее высоким уровнем доступа субъекта (и конфиденциальности объекта) является уровень «1», наиболее низким – уровень « $N$ ».

Таким образом, субъект с уровнем доступа «1» может читать содержимое абсолютно всех объектов (ресурсов) системы. Однако редактировать (модифицировать, вносить любые изменения) может только объект с уровнем доступа «1».

Субъект с уровнем доступа « $N$ » может производить «дозапись» в информационные ресурсы во все объекты системы, однако читать содержимое может только у объекта с уровнем конфиденциальности « $N$ ».

Субъект с уровнем доступа « $i$ » может читать содержимое объектов с уровнями конфиденциальности  $[i, i+1, \dots, N]$ , может производить «дозапись» в объекты с уровнями конфиденциальности  $[1, 2, \dots, i]$ .

### **Применение модели Белла-Лападулы для этапов жизненного цикла производства продукции промышленного предприятия**

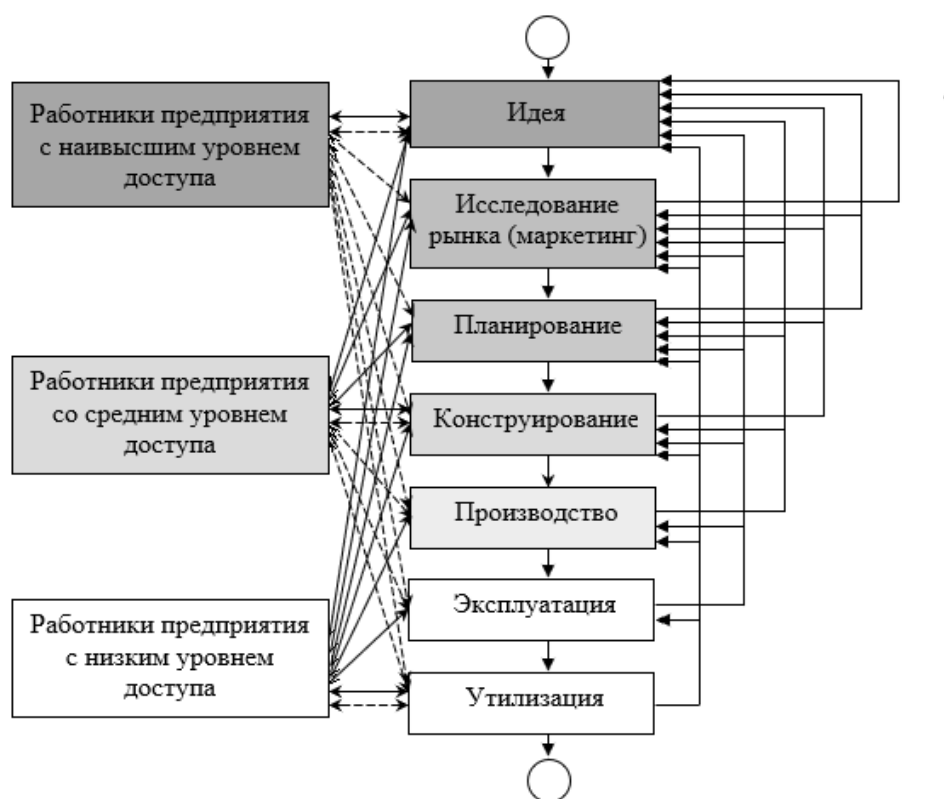
На рис. 4 представлена модель Белла-Лападулы для этапов ЖЦ производства продукции промышленного предприятия.

Согласно рис. 4, наибольшим уровнем конфиденциальности обладают информационные ресурсы на этапе идеи. Наименьший уровень конфиденциальности соответствует этапам эксплуатации и утилизации. Это также связано с передачей продукции клиенту.

Также важно отметить временной аспект: чем «дальше» этап ЖЦ от первого этапа – этапа идеи, тем быстрее информационные ресурсы теряют свою актуальность, и соответственно уровень конфиденциальности понижается.

При этом ошибка на этапе идеи влечет за собой необходимость модификации (и дополнительные расходы) на всех последующих этапах ЖЦ, в то время как ошибка на этапе утилизации требует внесения изменений только в рамках текущего этапа ЖЦ.

Таким образом, понижение уровня конфиденциальности информационных ресурсов от этапа идеи к этапу утилизации связано с понижением их ценности и актуальности, а также с понижением цены ошибки.



Условные обозначения:

- > — Предложение методов совершенствования управления ресурсами в рамках обратной связи этапов ЖЦ;
- - -> — Полный доступ к управлению ресурсами этапа ЖЦ;
- > — Связь этапов ЖЦ;
- - -> — Повышение уровня конфиденциальности.

Рис. 4. Модель Белла-Лападулы для этапов ЖЦ производства продукции промышленного предприятия  
 Fig. 4. Bell-Lapadula model for the life cycle stages of industrial production

Согласно рис. 4 на предприятии для работников предусмотрено три уровня доступа к ресурсам: «высший», «средний», «низкий»:

- работники предприятия с наивысшим уровнем доступа могут:
  - а) вносить изменения в ресурсы на этапе ЖЦ «Идея»;
  - б) просматривать ресурсы на всех этапах ЖЦ;
- работники предприятия со средним уровнем доступа могут:
  - а) вносить изменения в ресурсы на этапах ЖЦ:
    - 1) «Идея»;
    - 2) «Исследование рынка (Маркетинг)»;
    - 3) «Планирование»;
    - 4) «Конструирование»;
  - б) просматривать ресурсы на этапах ЖЦ:
    - 1) «Конструирование»;
    - 2) «Производство»;
    - 3) «Эксплуатация»;
    - 4) «Утилизация»;
- работники предприятия с наивысшим уровнем доступа могут:
  - а) просматривать ресурсы на этапах ЖЦ «Эксплуатация», «Утилизация»;
  - б) вносить изменения в ресурсы на всех этапах ЖЦ.

Где «вносить изменения» в ресурсы в контексте статьи – предлагать методы улучшения (совершенствования) управления ими в рамках обратной связи этапов ЖЦ, а «просматривать ресурсы» – иметь полный доступ к управлению ресурсами этапа ЖЦ.

Таким образом, распределение механизмов защиты должно быть проведено согласно понижению уровня конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия, относительно последовательности этапов ЖЦ производства.

### Заключение

Статья посвящена решению актуальной задачи рационального распределения механизмов обеспечения должного уровня конфиденциальности информационных ресурсов промышленного предприятия. Представлена схема совмещения модели Белла-Лападулы с моделью этапов ЖЦ производства. Также в работе рассмотрен аспект корреляции актуальности и конфиденциальности информационных ресурсов в рамках ЖЦ производства продукции предприятия.

#### Список источников:

1. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Method of Timely Prevention from Advanced Persistent Threats on the Enterprise Automated Systems // 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS).

2. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. et. al. Mathematical and Algorithmic Prevention of Biometric Data Leaks Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2021, 2021, pp. 210-212.

3. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., et. al. Development of the Model for Automating the Process of Information Transfer in Order to Increase Its Reliability, 2023 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Petrozavodsk, Russian Federation, 2023, pp. 56-58.

4. Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Kuznetsova N.M. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), Sochi, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019.

5. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В. Всеобщее управление качеством. Решение задачи повышения уровня информационной безопасности в рамках комплексного обеспечения качества на промышленном предприятии: уч. пос. – М.: Янус-К, 2019. – 64 с.

6. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В. Средства и методы управления качеством. Аспекты автоматизации процессов. Управления качеством на промышленном предприятии. уч. пос. – М.: Янус-К, 2019. – 112 с.

#### References:

1. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Method of Timely Prevention From Advanced Persistent Threats on the Enterprise Automated Systems. In: Proceedings of the 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); Saint Petersburg: 2022. p. 158-161.

2. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., et al. Mathematical and Algorithmic Prevention of Biometric Data Leaks. In: Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and QM and IS; Yaroslavl: 2021. p. 210-212.

3. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., et al. Development of the Model for Automating the Process of Information Transfer in Order to Increase Its Reliability. In: Proceedings of the 2023 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); Petrozavodsk: 2023. p. 56-58.

4. Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Kuznetsova N.M. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations. In: Shaposhnikov S, editor. Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); 2019; Sochi; Saint Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”: 2019. p. 155-157.

5. Kuznetsova N.M., Karlova T.V. Total Quality Management. Solving the Problem of Increasing the Level of Information Security at an Industrial Enterprise as Part of Quality Management System. Moscow: Janus-K; 2019.

6. Kuznetsova N.M., Karlova T.V. Means and Methods of Quality Management. Aspects of Process Automation. Quality Management at an Industrial Enterprise. Moscow: Janus-K; 2019.



7. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В. Управление, моделирование и анализ производственных процессов: уч. пос. – М.: Янус-К, 2021. – 108 с.

8. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В. Совершенствование процессов управления в производственной среде. Аспекты автоматизации процессов управления: уч. пос. – М.: Янус-К, 2021. – 160 с.

9. Ефимов В.В. Средства и методы управления качеством: уч. пос. – 3-е изд., стер. – М.: КНОРУС, 2012. – 232 с.

10. Макконнелл С. Совершенный код. Мастер-класс / Пер. С англ. – М.: издательство «Русская Редакция»; СПб. :Питер, 2008. – 896 с.

11. Хорев П.Б. Программно-аппаратная защита информации: уч. пос. – 2-е испр. и доп. – М. ФОРУМ : ИНФА-М, 2019. – 352 с.

12. Кузнецова Н.М. Применение биометрической аутентификации в автоматизированных системах защиты стратегически важных ресурсов предприятия: монография. – М: ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН», Янус-К, 2023. – 136 с.

7. Kuznetsova N.M., Karlova T.V. Management, Modelling and Analysis of Production Processes. Moscow: Janus-K; 2021.

8. Kuznetsova N.M., Karlova T.V. Improving Management Processes in the Production Environment. Aspects of Management Process Automation. Moscow: Janus-K; 2021.

9. Efimov V.V. Means and Methods of Quality Management. 3rd ed. Moscow: KNORUS; 2012.

10. McConnell S. The Perfect Code. Master-Class. Translated from English. Moscow: Russian Edition; Saint Petersburg: Piter; 2008.

11. Khorev P.B Hardware and Software Information Protection. 2nd ed. Moscow: INFA-M; 2019.

12. Kuznetsova N.M. Application of Biometric Authentication in Automated Systems for the Protection of Strategically Important Resources of an Enterprise. Moscow: MSUT «STANKIN», Janus-K; 2023.

#### **Информация об авторах:**

##### **Кузнецова Наталья Михайловна**

кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

##### **Карлова Татьяна Владимировна**

доктор социологических наук, кандидат технических наук, профессор, Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

##### **Бекмешов Александр Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент, Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

#### **Information about the authors:**

##### **Kuznetsova Natalia Mikhailovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Moscow State University of Technology «STANKIN»

##### **Karlova Tatyana Vladimirovna**

Doctor of Sociological Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

##### **Bekmeshov Alexander Yuryevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 17.10.2024; принята к публикации 30.10.2024.**

**The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 17.10.2024; accepted for publication 30.10.2024.**

**Рецензент** – Малаханова А.Г., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Malakhanova A.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.021

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-66-71

## АЛГОРИТМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ГРАФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПОЧЕРКОВ РАБОТНИКОВ ПРЕДПРИЯТИЯ

Наталья Михайловна Кузнецова<sup>1</sup>, Татьяна Владимировна Карлова<sup>2</sup>,  
Анна Николаевна Запольская<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

<sup>2, 3</sup> Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук, г. Москва, Россия

<sup>1</sup> knm87@mail.ru

<sup>2</sup> karlova-t@yandex.ru

<sup>3</sup> zap-ann@yandex.ru

**Аннотация.** Целью научной работы является создание алгоритма автоматического графологического анализа почерков работников предприятия. Основу алгоритма составляет параллельная обработка рукописного текста работников предприятия. Внедрение представленного алгоритма позволит создать модульную автоматизированную систему графологического анализа. В статье представлена архитектура автоматизированной системы графологического анализа. Новизной работы является предложенная креативная концепция использования автоматического графологического анализа для своевременного выявления попыток неблагоприятного внешнего психологического воздействия на работников предприятия. Результатом исследования являются рекомендации по применению алгоритма графологического анализа почерков работников предприятия в автоматизированных системах защиты информации.

**Ключевые слова:** автоматизация, графология, трудовые ресурсы, защита информации, информационная безопасность

**Для цитирования:** Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Запольская А.Н. Алгоритм автоматического графологического анализа почерков работников предприятия // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 66-71. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-66-71.

Original article

Open Access Article

## ALGORITHM FOR AUTOMATIC GRAPHOLOGICAL ANALYSIS OF EMPLOYEES' HANDWRITING

Natalia M. Kuznetsova<sup>1</sup>, Tatiana V. Karlova<sup>2</sup>, Anna N. Zapolskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Technology «STANKIN», Moscow, Russia

<sup>2, 3</sup> Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>1</sup> knm87@mail.ru

<sup>2</sup> karlova-t@yandex.ru

<sup>3</sup> zap-ann@yandex.ru

**Abstract.** The aim of the work is to create an algorithm for automatic graphological analysis of employees' handwriting. The basis of the algorithm is parallel processing of the employees' handwritten text. Implementing the presented algorithm will allow creating a modular automated system of graphological analysis. The article presents the architecture of an automated system of graphological analysis. The novelty of the work is the proposed creative concept of using automatic graphological analysis for timely detection of attempts of unfavourable external psychological influence on employees. The result of the study is recommendations for using the algorithm for graphological analysis of employees' handwriting in automated information security systems.

**Keywords:** automation, graphology, labour resources, information protection, information security

**For citation:** Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Zapolskaya A.N. Algorithm for Automatic Graphological Analysis of Employees' Handwriting. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 66-71. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-66-71.

---

## **Введение**

Графологическая экспертиза является одним из методов оценки личности. Данные методы часто применяют при устройстве нового сотрудника на работу. Кроме того, графологические технологии анализа могут быть использованы для предотвращения реализаций методов социальной инженерии – методов внешнего психологического неблагоприятного воздействия на личность. Также современная графологическая экспертиза позволяет определить ментальное здоровье и психо-эмоциональное состояние работников предприятия. Однако применение данных методов предусматривает приглашение соответствующих данной отрасли специалистов – квалифицированных графологов. Статья посвящена автоматизации графологической экспертизы, применение которой позволит ускорить процесс анализа и точность принятия управленческих решений относительно трудовых ресурсов предприятия.

### **Применение методов графологической экспертизы для оценки личности работников предприятия**

Современные промышленные предприятия часто сталкиваются со множеством атак на информационные и инфраструктурные ресурсы [1 – 9]. При этом большинство таких атак основаны на применении методов психологической инженерии, направленных, в первую очередь на трудовые ресурсы предприятия. Таким образом, одной из основных задач защиты стратегически важных ресурсов является контроль за работниками предприятия. Одним из методов анализа психологического и эмоционального состояния работников является проведение графологической экспертизы их почерка.

Основными преимуществами методов графологического анализа являются:

- возможность проведения анализа без оповещения работника – скрытость от тестируемого;
- независимость от языка;
- объективность оценки;
- оперативность;
- точность;
- возможность проведения оценки динамики изменения личностных качеств;
- возможность выявления психических заболеваний [10, 11];
- возможность детектирования деструктивных изменений психики под влиянием методов социальной инженерии – внешних неблагоприятных психологических воздействий на личность [1].

Согласно исследованиям [10, 11], с помощью графологического анализа можно проводить оценку: уровня мотивации; уровня независимости; коммуникабельности; общительности; психологической устойчивости; стрессоустойчивости; конфликтности; лидерских качеств человека и т.д.

Таким образом, проведение графологической экспертизы является удобным инструментом контроля трудовых ресурсов предприятия – психологического и эмоционального состояния работников предприятия.

### **Основные факторы анализа почерка работников предприятия**

Основными факторами анализа почерка работников предприятия являются:

- построение линий письма (строк);
- высота букв;
- наклон букв;
- расстояние:
  - а) между буквами;
  - б) между словами;
  - в) между строками;

- ширина полей (правого, левого, верхнего, нижнего);
- нажим;
- форма букв;
- дополнительные факторы (размер заглавных букв, петли, крючки, штрихи и т.д.) [10, 11].

Каждый из перечисленных факторов «отвечает» за черту характера. Например, крупный почерк «говорит» об уверенности в себе, а наличие больших интервалов между строками свидетельствует об умении стратегически мыслить.

### Алгоритм автоматического графологического анализа почерка работника предприятия

На рис. 1 представлена схема алгоритма автоматического графологического анализа почерка работника предприятия.

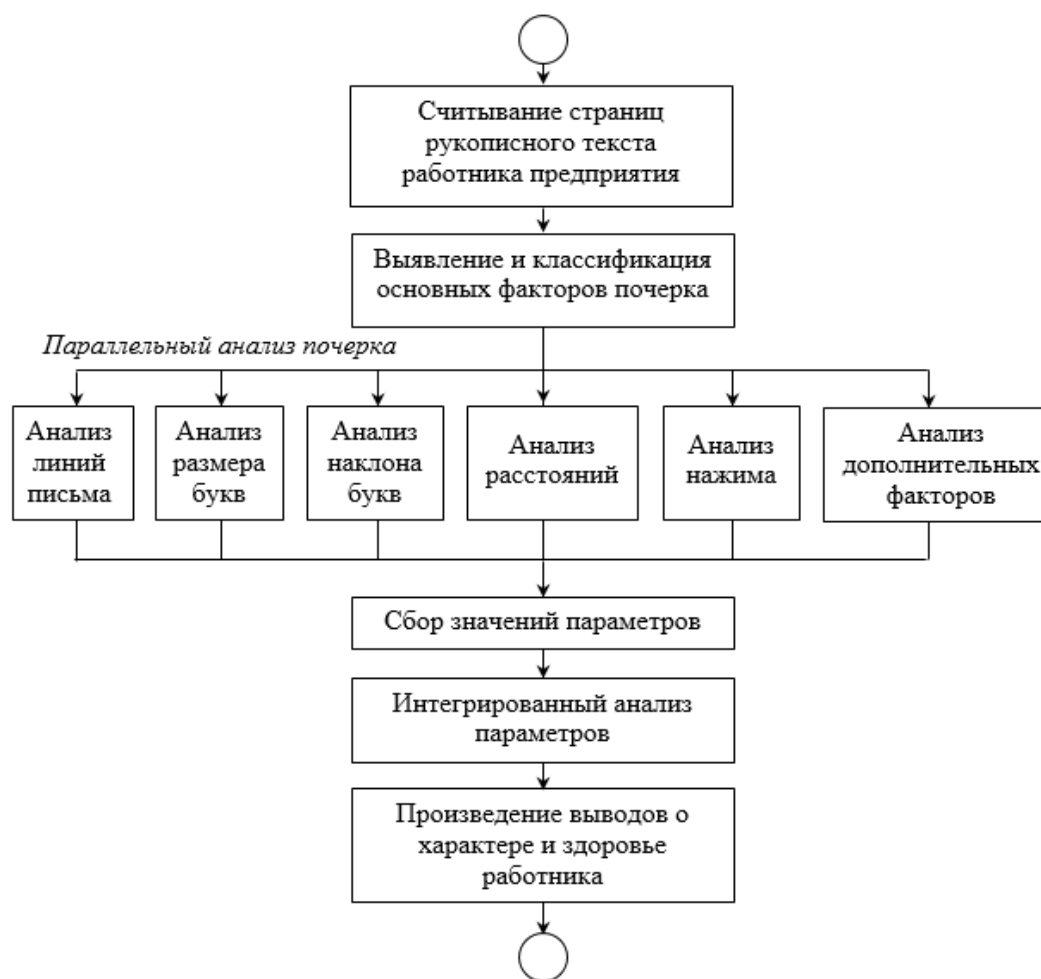


Рис. 1. Схема алгоритма автоматического графологического анализа почерка работника предприятия  
 Fig. 1. Scheme of the algorithm for automatic graphological analysis of the handwriting of an enterprise employee

Согласно рис. 1 алгоритм автоматического графологического анализа почерка работников предприятия состоит из считывания рукописного текста, выявления и классификации основных факторов почерка (линий, размера, наклона и т.д.), параллельного анализа факторов почерка, сбора значений параметров, интегрированного анализа параметров, произведения выводов о характере, здоровье, психоэмоциональном состоянии работника предприятия.

Представленный алгоритм имеет «параллельный участок», что позволяет распределить соответствующую обработку на несколько программных модулей при его реализации.

Работа графолога является кропотливой. Помимо того, что он должен заметить максимальное количество факторов письма, он также должен провести их совместных корректный анализ.

Применение алгоритма автоматического графологического анализа позволит: детектировать в письме максимальное количество признаков; минимизировать ошибки; сократить время анализа.

### Реализация алгоритма автоматического графологического анализа почерка работника предприятия

Ввиду того, что алгоритм содержит участок, в котором производится параллельная обработка, алгоритм можно реализовать в рамках распределенной архитектуры.

Анализ линий письма, размера букв, наклона букв, расстояний между буквами, словами, строками, нажима, дополнительных факторов можно реализовать с помощью отдельных программных сервисов или модулей.

Данная особенность представленного в статье алгоритма позволяет повысить гибкость и масштабируемость соответствующей автоматизированной системы графологического анализа (АСГА).

На рис. 2 представлена архитектура АСГА.

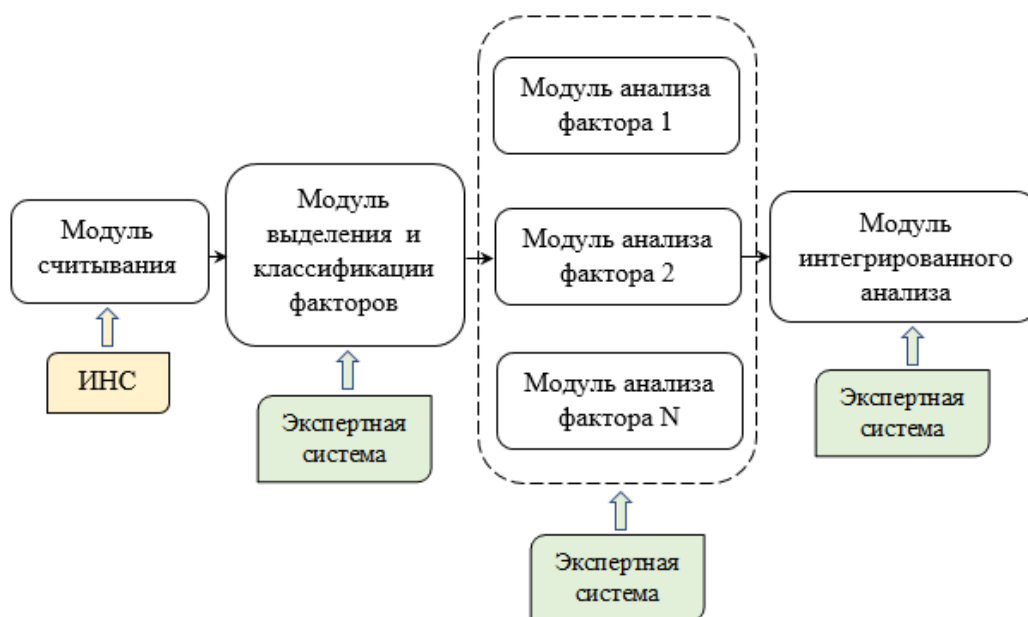


Рис. 2. Архитектура АСГА  
Fig. 2. ASGA architecture

Также на рис. 2 представлены модули, где могут быть применены технологии искусственных нейронных сетей (ИНС) и экспертные системы.

В представленной архитектуре количество модулей анализа почерка можно изменять. Также модули анализа могут быть реализованы удаленно – в виде сервисов. Таким образом, за счет модульности достигается высокий уровень гибкости АСГА.

### Применение алгоритма в автоматизированных системах защиты информационных ресурсов предприятия

Представленный алгоритм является основой АСГА, однако он также может быть применен в любой автоматизированной системе защиты [12].

Ввиду того, что в качестве входных данных в алгоритм представляется графическая информация, наиболее вычислительно затратным модулем является модуль выделения и классификации факторов почерка.

Для модулей анализа входными данными также является графическая информация, однако уже частично обработанная.

Для увеличения точности и скорости обработки в модулях могут быть применены технологии ИНС.

### Выводы

Статья посвящена решению актуальной задачи автоматизации графологического анализа. Представленный в статье алгоритм анализа рукописных текстов работников предприятия позволит повысить точность и скорость принятия управленческих решений относительно трудовых ресурсов предприятия (при приеме, повышении или увольнении работников). Представленный в статье алгоритм может быть реализован в рамках сервисной архитектуры, что позволит минимизировать расходы на вычислительные ресурсы.

#### Список источников:

1. Кузнецова Н.М. Методология защиты от целевых кибератак повышенной сложности в автоматизированных системах промышленного предприятия (монография). – М.: «Янус-К», 2024. – 132 с.
2. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Классификация компьютерных атак на автоматизированные системы промышленных предприятий // Качество. Инновации. Образование. – 2019. – № 4 (162). – С. 54-59.
3. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Method of Timely Prevention from Advanced Persistent Threats on the Enterprise Automated Systems // 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS).
4. Karlova T.V., Sheptunov S.A., Kuznetsova N.M., Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems // Proceedings of the 2017 International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS 2017) 24 – 30 September 2017, St. Petersburg, Russia. – С. 203-206.
5. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. et. al. Development of the Model for Automating the Process of Information Transfer in Order to Increase Its Reliability, 2023 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS), Petrozavodsk, Russian Federation, 2023, pp. 56-58.
6. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Y. et. al. Mathematical and Algorithmic Prevention of Biometric Data Leaks Proceedings of the 2021 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies», IT and QM and IS 2021, pp. 210-212.
7. Karlova T.V., Bekmeshov A.Y., Sheptunov S.A., Kuznetsova N.M. Methods Dedicated to Fight Against Complex Information Security Threats on Automated Factories Systems // 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS). – 2016. – P. 23-27.

#### References:

1. Kuznetsova N.M. Methodology of Protection Against Targeted Cyber Attacks of Increased Complexity in Automated Systems of an Industrial Enterprise. Moscow: Janus-K; 2024.
2. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Classification of Computer Attacks on Automated Systems of Industrial Enterprises. Quality. Innovation. Education. 2019;4(162):54-59.
3. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Method of Timely Prevention From Advanced Persistent Threats on the Enterprise Automated Systems. In: Proceedings of the 2022 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); Saint Petersburg: 2022. p. 158-161.
4. Karlova T.V., Sheptunov S.A., Kuznetsova N.M. Automation of Data Defence Processes in the Corporation Information Systems. In: Proceedings of the 2017 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); 2017 Sep 24 – Sep; Saint Petersburg: 2017. p. 203-206.
5. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., et al. Development of the Model for Automating the Process of Information Transfer in Order to Increase Its Reliability. In: Proceedings of the 2023 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); Petrozavodsk: 2023. p. 56-58.
6. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., et al. Mathematical and Algorithmic Prevention of Biometric Data Leaks. In: Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies, IT and QM and IS; Yaroslavl: 2021. p. 210-212.
7. Karlova T.V., Bekmeshov A.Y., Sheptunov S.A., Kuznetsova N.M. Methods Dedicated to Fight Against Complex Information Security Threats on Automated Factories Systems. In: Proceedings of the 2016 IEEE Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&MQ&IS); 2016 Oct; Nalchik: 2016. p. 23-27.

8. Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Kuznetsova N.M. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations / Proceedings of the 2019 IEEE International Conference «Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies» (IT&QM&IS), Sochi, Russia // Proceedings Edited by S. Shaposhnikov, St. Petersburg, Russia: Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2019.

9. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Применение автоматизированной автороведческой экспертизы в системах защиты интеллектуальных ресурсов промышленного предприятия // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – № 2 (20). – С. 23-29.

10. Моргенштерн И.Ф. Психо-графология или наука об определении внутреннего мира человека по его почерку. – М.: «Книга по требованию», 2023. – 714 с.

11. Практическая графология. Ключ к пониманию себя и окружающих / [сост. Е.Л. Исаева] М.: РИПОЛ классик / T8RUGRAM, 2017. – 256 с.

12. Кузнецова Н.М., Карлова Т.В., Бекмешов А.Ю. Проектирование вспомогательной автоматизированной системы принятия управленческих решений на основе анализа уровня информационной безопасности // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – № 3 (21). – С. 13-22.

8. Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu., Kuznetsova N.M. Protection the Data Banks in State Critical Information Infrastructure Organizations. In: Shaposhnikov S, editor. Proceedings of the 2019 IEEE International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS); Sochi; Saint Petersburg: Saint Petersburg Electrotechnical University “LETI”: 2019. p. 155-157.

9. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Using Automated Authorship Expertise in the Systems of Intellectual Resource Protection of an Industrial Enterprise. Automation and Modelling in Design and Management. 2023;2(20):23-29.

10. Morgenstern I.F. Psychography or the Science of Determining the Inner World of a Person by His Handwriting. Moscow: Book on Demand; 2023.

11. Isaeva E.L., et al., compiler. Practical Graphology. The Key to Understanding Yourself and Others. Moscow: RIPOL Classic, T8RUGRAM; 2017.

12. Kuznetsova N.M., Karlova T.V., Bekmeshov A.Yu. Designing an Auxiliary Automated Management Decision Making System Based on Information Security Level Analysis. Automation and Modelling in Design and Management. 2023;3(21):13-22.

#### **Информация об авторах:**

##### **Кузнецова Наталья Михайловна**

кандидат технических наук, доцент, Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

##### **Карлова Татьяна Владимировна**

доктор социологических наук, кандидат технических наук, профессор, Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

##### **Запольская Анна Николаевна**

кандидат социологических наук, доцент, Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

#### **Information about the authors:**

##### **Kuznetsova Natalia Mikhailovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Moscow State University of Technology «STANKIN»

##### **Karlova Tatyana Vladimirovna**

Doctor of Sociological Sciences, Candidate of Technical Sciences, Professor of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

##### **Zapolskaya Anna Nikolaevna**

Candidate of Sociological Sciences, Associate Professor of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 07.10.2024; принята к публикации 28.10.2024.**

**The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 07.10.2024; accepted for publication 28.10.2024.**

**Рецензент** – Малаханова А.Г., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

**Reviewer** – Malakhanova A.G., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 623.454.838

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81

## ПОСЛЕДСТВИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ В КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

**Александр Сергеевич Ягодкин<sup>1</sup>, Валентина Ивановна Анциферова<sup>2</sup>,  
Татьяна Владимировна Скворцова<sup>3</sup>, Михаил Юрьевич Рытов<sup>4</sup>,  
Виталий Александрович Шкаберин<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова,  
г. Воронеж, Россия

<sup>4, 5</sup> Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

<sup>1, 2, 3</sup> aas8026@rambler.ru

<sup>4, 5</sup> rmy@tu-bryansk.ru

**Аннотация.** Рассматривается анализ теоретических и практических аспектов влияния ядерных взрывов, проведенных в условиях космического пространства. Исследование начинается с обзора исторических экспериментов, продолжается оценкой технологических, физических и экологических последствий таких взрывов. Особое внимание уделяется эффектам электромагнитного импульса, изменениям в ионосфере и магнитосфере Земли, а также потенциальному воздействию на спутниковые системы и космические аппараты. Рассматриваются ограничения, связанные с использованием ядерного оружия в космосе, и потенциальные сценарии применения таких технологий в будущем для целей национальной обороны и защиты.

**Ключевые слова:** ядерный взрыв, космическое пространство, ядерное оружие, электромагнитный импульс, спутники, космический мусор

**Для цитирования:** Ягодкин А.С., Анциферова В.И., Скворцова Т.В., Рытов М.Ю., Шкаберин В.А. Последствия воздействий на искусственные спутники ядерных взрывов в космическом пространстве // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 72-81. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81.

Original article

Open Access Article

## CONSEQUENCES OF AFFECTING SPACE NUCLEAR EXPLOSIONS ON ARTIFICIAL SATELLITES

**Alexander S. Yagodkin<sup>1</sup>, Valentina I. Antsiferova<sup>2</sup>, Tatyana V. Skvortsova<sup>3</sup>,  
Mikhail Ur. Rytov<sup>4</sup>, Vitaly A. Shkaberin<sup>5</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov,  
Voronezh, Russia

<sup>4, 5</sup> Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

<sup>1, 2, 3</sup> aas8026@rambler.ru

<sup>4, 5</sup> rmy@tu-bryansk.ru

**Abstract.** The article analyzes theoretical and practical aspects of affecting nuclear explosions conducted in outer space. The study begins with a review of historical experiments and continues with assessing the technological, physical, and environmental consequences of such explosions. The paper pays particular attention to the effects of electromagnetic pulses, changes in the Earth's ionosphere and magnetosphere, and the potential impact on satellite systems and spacecraft. The limitations associated with using nuclear weapons in space and potential scenarios for employing such technologies in the future for national defence and protection are considered.

**Keywords:** nuclear explosion, outer space, nuclear weapons, electromagnetic pulse, satellites, space debris

**For citation:** Yagodkin A.S., Antsiferova V.I., Skvortsova T.V., Rytov M.Ur., Shkaberin V.A. Consequences of affecting space nuclear explosions on artificial satellites. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 72-81. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-72-81.

---

---



## Введение

Ядерные взрывы, известные своими разрушительными последствиями на Земле, это феномен, оказывающий значительное влияние и в космическом пространстве. Ядро такого взрыва представляет собой реакцию, при которой атомные ядра расщепляются (ядерный распад) или объединяются (термоядерный синтез), высвобождая при этом колоссальное количество энергии [1, 4...7]. Эта энергия проявляется в виде интенсивного тепла, света, давления, и что особенно значимо для космического пространства, радиации и электромагнитного излучения.

В космическом контексте ядерные взрывы изучались как часть военных и научных программ, начиная с эры холодной войны. Проекты, такие как американский «StarfishPrime» и советский «Космос 954», демонстрировали эффекты ядерных взрывов на значительных высотах и в космосе. Согласно международных договорённостей и опасений по поводу массового разрушения, такие испытания больше не проводятся.

Несмотря на это, осознание последствий ядерных взрывов в космосе остается актуальным, особенно в свете возрастающего числа спутников и других космических аппаратов. Спутники, играющие ключевую роль в современных коммуникационных, навигационных и наблюдательных системах, особенно уязвимы к подобным воздействиям.

Ключевым фактором, отличающим ядерные взрывы в космосе от земных, является отсутствие атмосферы, которая на Земле поглощает часть излучения и распределяет ударную волну. В космическом пространстве, электромагнитное излучение и частицы радиации распространяются без препятствий, что увеличивает их потенциальное воздействие на космическую технику.

С точки зрения международного права, ядерные испытания в космическом пространстве регулируются рядом договоров и соглашений. Договор о космосе (1967) запрещает размещение ядерного оружия на орбите, на Луне или на других небесных телах. Это делает любые ядерные взрывы в космосе не только опасными с технической точки зрения, но и юридически недопустимыми [2, 3 – 6, 8].

### Ядерные взрывы в космическом пространстве

Исследуя предполагаемые последствия ядерного взрыва в космическом пространстве, необходимо учитывать, что такой взрыв представляет собой сложный процесс, состоящий из множества аспектов, начиная от физических явлений, связанных с детонацией ядерного устройства в условиях космического вакуума, до огромных негативных потенциальных последствий как для окружающего космического пространства, так и для Земли.

Во-первых, рассмотрим сам процесс ядерного взрыва [1]. Ядерный взрыв – это быстрое высвобождение огромного количества энергии в результате ядерной реакции, будь то деление (как в атомных бомбах) или синтез (как в водородных бомбах). В условиях космоса, где отсутствует атмосфера, отсутствуют и самые характерные параметры ядерного взрыва – это ударная волна и грибовидное облако. В вакууме, энергия взрыва распространяется в виде излучений: гамма-лучи, рентгеновское излучение, высокоэнергетические частицы.

Основной вид энергии в ядерном взрыве – это тепловое излучение. Тепловая энергия может быть рассчитана по формуле:  $E = m \cdot c^2$ , где  $E$  – энергия,  $m$  – масса вещества, участвующего в ядерной реакции,  $c$  – скорость света.

Например, если в ядерной реакции участвует 1 кг материала, энергия, которая будет высвобождена, составит около  $9 \cdot 10^{16}$  джоулей, что эквивалентно взрыву 21,5 мегатонны в тротиловом эквиваленте.

В космическом пространстве ядерные взрывы могут вызвать различные последствия. Одно из них – это создание искусственных радиационных поясов, подобных Ван Алленовскому радиационному поясу Земли.

Такие пояса образуются из захваченных высокоэнергетических частиц и, как следствие,

они представляют собой угрозу как для космических аппаратов, так и для космонавтов, астронавтов.

Помимо этого, необходимо еще и учитывать эффект электромагнитного импульса (ЭМИ), который возникает при ядерном взрыве. Его последствия в космосе – это серьезное влияние на работу спутников и других космических аппаратов, вызывая сбои в их работе и даже полный выход из строя.

Помимо этого, ядерные взрывы в космосе могут повлиять на окружающие космические объекты. Например, взрыв близко к поверхности Луны или астероида может вызвать выброс материала в космос, что, в свою очередь, может привести к изменению орбиты этих объектов или созданию космического мусора.

### **Электромагнитный импульс (ЭМИ) и его воздействие на спутники**

Электромагнитный импульс (ЭМИ) представляет собой кратковременное, но чрезвычайно интенсивное излучение электромагнитной энергии, которое может возникать при различных условиях, включая атмосферные ядерные взрывы, излучение далекого космоса, солнечные бури или даже как результат специально разработанного электромагнитного оружия. Электромагнитный импульс имеет способность индуцировать высокие напряжения и токи в электронных цепях, что может привести к их повреждению или разрушению. Для спутников, воздействие ЭМИ представляет собой значительную угрозу, поскольку космические аппараты оснащены чувствительной электроникой, которая необходима для их функционирования [1 – 4, 6].

Для понимания механизма воздействия ЭМИ на спутники важно рассмотреть основные аспекты электромагнитной индукции. Согласно закону Фарадея, изменяющееся магнитное поле создает электрическое поле, которое, в свою очередь, может индуцировать токи в проводниках. Формула закона Фарадея выражается как  $E = -d\Phi/dt$ , где  $E$  – электродвижущая сила (ЭДС),  $\Phi$  – магнитный поток, а  $dt$  – изменение времени. В случае ЭМИ, быстрое изменение электромагнитного поля вызывает возникновение значительных ЭДС в электронных компонентах спутников.

Эти индуцированные ЭДС могут превышать нормальные рабочие параметры систем спутника, что приводит к перегрузкам и повреждениям. В частности, микросхемы и полупроводниковые устройства являются наиболее уязвимыми, поскольку они способны выходить из строя при относительно небольших перенапряжениях. Это может вызвать сбои в системах управления, навигации, коммуникации и энергоснабжения спутника.

Кроме того, следует учитывать, что спутники находятся в условиях космического пространства, где они подвергаются воздействию различных форм космического излучения и заряженных частиц, что увеличивает риск воздействия ЭМИ. Например, солнечные бури и выбросы корональной массы могут генерировать интенсивные электромагнитные поля, способные повредить спутники.

Для защиты спутников от эффектов ЭМИ применяются различные методы. Одним из основных является экранирование – использование материалов, способных поглощать или отражать электромагнитные волны, тем самым уменьшая их воздействие на чувствительные компоненты. Также применяются технологии жёсткого программирования и аппаратного обеспечения, устойчивого к радиационным воздействиям.

### **Радиационное воздействие на спутниковые системы**

Радиационное воздействие на спутниковые системы представляет собой значительный вызов, так как оно может привести к сбоям в работе оборудования и даже к его полному выходу из строя. Спутники в космосе подвергаются воздействию различных видов радиации, включая галактические космические лучи, солнечный ветер и высокоэнергетические частицы, захваченные земным магнитным полем.

Влияние радиации на электронные компоненты спутника можно разделить на две

основные категории: постоянное повреждение и временные сбои. Постоянные повреждения обычно вызваны воздействием высокоэнергетических частиц, которые могут вызвать физические изменения в полупроводниковых материалах, например, создание дефектов в кристаллической решетке. Временные сбои, такие как одиночные события (SingleEventEffects, SEE), возникают, когда частица высокой энергии проходит через микроэлектронное устройство, вызывая нежелательные изменения в его работе [9-11].

Ключевым показателем в оценке радиационной устойчивости спутников является полная поглощенная доза (TotalIonizingDose, TID), которая измеряет суммарное количество энергии, поглощенной материалом от ионизирующего излучения. TID измеряется в радах (в системе СИ – в греях) и определяется как  $E = D \cdot m$ , где  $E$  – энергия в джоулях,  $D$  – доза в греях, а  $m$  – масса поглощающего материала в килограммах.

Устройства, чья работа основана на передаче неосновных носителей заряда, оказываются наиболее уязвимыми к деградации в результате радиационных эффектов структурных повреждений. Их чувствительность связана с изменением времени жизни неосновных носителей заряда при облучении. Поскольку время жизни этих носителей начинает меняться уже при низких уровнях радиационного воздействия, по сравнению с уровнями, при которых происходит снижение концентрации и подвижности основных носителей заряда, такие устройства имеют более низкую радиационную устойчивость. Повреждения структуры первыми ощутят диоды, биполярные транзисторы и биполярные микросхемы. Тогда как диоды Шоттки, полевые транзисторы с различными типами затворов, а также МОП- и КМОП-устройства и микросхемы деградируют в основном из-за эффекта снижения концентрации основных носителей заряда, и поэтому они менее чувствительны к структурным повреждениям.

Устройства в области фотоники и оптоэлектроники, такие как фотодиоды, фототранзисторы, светодиоды, солнечные батареи и изображающие устройства, очень чувствительны к деградации в результате структурных повреждений. Устройства фотоники на основе гетероструктур с нанометровой толщиной слоев оказываются менее уязвимыми к этому виду повреждений. Это относится как к излучающим устройствам, так и к приемным.

*Повреждение диодов на основе p-n-перехода.* Возникновение структурных дефектов в устройствах этого типа приводит к ряду изменений. Например, уровень прямого напряжения при постоянном рабочем токе меняется, обратный ток увеличивается, а также и пробивное напряжение растет. Одновременно с этим, время восстановления обратного сопротивления уменьшается [7, 9].

Снижение прямого напряжения происходит из-за сокращения времени жизни неосновных носителей заряда, что влечет за собой и снижение напряжения на p-n-переходе. Кроме того, удельное сопротивление базовой области растет из-за уменьшения концентрации основных носителей заряда, что увеличивает напряжение на базовой области. Анализируя влияние облучения, получаем как снижение, так и увеличение прямого напряжения.

Самое значительное влияние радиации зависит от выбранного электрического режима и уровня воздействия. При низких уровнях тока наблюдается снижение прямого напряжения, а при больших токах – напряжение может увеличиваться после облучения.

А вот обратный ток p-n-перехода увеличивается из-за повышения его основных составляющих: диффузионной, генерационной и поверхностной.

В большинстве кремниевых диодов, увеличению обратного тока способствует рост генерационной компоненты, особенно в случае структур с пассивированной поверхностью. Так как, генерационная компонента обратно пропорциональна времени жизни неосновных носителей заряда, то уменьшение их времени жизни при облучении, приводит к увеличению этой составляющей обратного тока.

При радиационном воздействии, напряжение пробоя для диодных структур, обозначенное как  $U_{\text{проб}}$ , увеличивается. Это происходит из-за повышения удельного сопротивления полупроводникового материала и уменьшения градиента концентрации зарядовых носителей в переходе. Этот эффект становится особенно заметным при высоких уровнях радиационного воздействия, который существенно влияет на концентрацию зарядовых носителей в базовой области диода.

Но замечено, что радиационное облучение может и улучшить один из основных

импульсных параметров диодов, а именно, время восстановления обратного сопротивления, обозначенное как  $\tau_{\text{восст}}$ . Заметное снижение  $\tau_{\text{восст}}$  начинает происходить даже при таких уровнях облучения, которые не вызывают критических изменений в падении напряжения и в повышении обратного тока.

Обычно наблюдается связь между  $\tau_{\text{восст}}$  и временем жизни неосновных носителей заряда, которое обозначается как  $\tau$ , следующим образом:  $\tau_{\text{восст}} \approx k \cdot \tau$ , где  $k$  – коэффициент времени жизни неосновных носителей заряда.

Так как время жизни неосновных носителей заряда уменьшается при облучении, из-за создания радиационных центров, которые являются центрами рекомбинации, то и время восстановления обратного сопротивления также будет снижаться.

*Деградация биполярных транзисторов под действием радиации.* Как сказано выше, ключевым последствием радиационного облучения биполярных транзисторов является уменьшение коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером, обозначаемого как  $h_{21Э}$ . Такое понижение сопровождается увеличением различных компонентов базового тока, возникающего из-за ионизационных дозовых эффектов или структурных повреждений [6].

В случае структурных повреждений, наращивание рекомбинационных компонентов базового тока обусловлено появлением радиационных дефектов, которые служат центрами рекомбинации.

В целом, изменение коэффициента передачи тока  $h_{21Э}$  при облучении описывается следующим уравнением:

$$\frac{1}{h_{21ЭФ}} = \frac{1}{h_{21Э0}} + \frac{K_{\text{инт}} \Phi + \Delta\left(\frac{1}{\tau_{s\Phi}}\right)}{2\pi f_T}, \quad (1)$$

где  $h_{21Э0}$  (до облучения) и  $h_{21ЭФ}$  (после облучения) – значения коэффициента передачи тока до и после облучения;  $K_{\text{инт}}$  – интегральный коэффициент, отражающий уменьшение времени жизни в объеме транзистора под воздействием облучения;  $f_T$  – предельная частота;  $\Phi$  – магнитный поток;  $\Delta(1/\tau_{s\Phi})$  – изменение поверхностного компонента времени жизни в процессе облучения.

Влияние поверхностных радиационных эффектов определяет изменение компонента  $\Delta(1/\tau_{s\Phi})$ , которое может быть обусловлено ионизационными процессами. На определенном этапе, эти поверхностные эффекты достигают насыщения, и дальнейшие изменения в  $h_{21Э}$ , вызванные радиацией, становятся зависимыми от формирования структурных дефектов в объеме полупроводника.

Описанная ситуация может возникнуть при облучении, обладающем слабой ионизирующей способностью, например, при нейтронном облучении. Если изменения в  $h_{21Э}$  определяются объемными эффектами, то соотношение  $1/h_{21Э}$  и флюенса воздействующих быстрых частиц будет линейной.

Однако при низких уровнях облучения, когда насыщение поверхностных эффектов еще не достигнуто, зависимость  $1/h_{21Э}$  от флюенса будет нелинейной [4, 8].

*Изменения биполярных микросхем.* В биполярных интегральных схемах, ионизационные дозовые эффекты будут более выраженными по сравнению с дискретными устройствами. Это связано с присутствием полевых оксидов, которые влияют не только на функционирование отдельных транзисторов в составе ИС, но и приводят к формированию каналов утечки тока между различными элементами ИС из-за накопления заряда при облучении.

Кроме этого, структурные повреждения также оказывают значительное влияние на деградацию. К примеру, облучение биполярных ИС до одинакового уровня ионизационной дозы гамма-квантами, электронами и протонами приводит к разным уровням деградации, а именно: максимальная деградация наблюдается при облучении протонами, минимальная – при облучении гамма-квантами. Это связано с тем, что протонное облучение часто вызывает структурные повреждения в полупроводниковых кристаллах облучаемых изделий, в то время как гамма-облучение практически не вызывает таких дефектов.

Стоит отметить, что при рассмотрении деградации биполярных транзисторов и биполярных ИС, ионизационные и структурные повреждения обладают аддитивной природой. В частности, изменение  $h_{21Э}$  в биполярных транзисторах можно записать следующим образом:

$$\Delta \frac{1}{h_{213}} = (\Delta \frac{1}{h_{213}})_{\text{стр}} + (\Delta \frac{1}{h_{213}})_{\text{ион}}. \quad (2)$$

В этом выражении, элементы справа от равенства отражают изменение  $h_{213}$ , вызванное структурными повреждениями и ионизационными эффектами соответственно. По сравнению с уравнением (2), мы можем просто записать следующее:

$$\Delta \left( \frac{1}{h_{213}} \right)_{\text{стр}} = \frac{K_{\text{инт}}}{2\pi f_T}, \quad (3)$$

$$\Delta \left( \frac{1}{h_{213}} \right)_{\text{ион}} = \frac{\Delta(1/\tau_{s\phi})}{2\pi f_T}. \quad (4)$$

Если построить кривые деградации, полученные в результате облучения гамма-квантами (отражающие деградацию из-за ионизационных дозовых эффектов) и нейтронами (отражающие деградацию из-за структурных повреждений), то возможно воссоздать и кривую деградации для любых радиационных условий, представленных в космическом пространстве [5].

*Повреждения светоизлучающих диодов (СД).* Повреждение светодиодов при радиационном облучении приводит к снижению внутренней и внешней квантовой эффективности. Это явление связано с увеличением роли процесса без излучательной рекомбинации через уровни радиационных дефектов в запрещенной зоне полупроводника. На сегодняшний день существуют три основных конструктивно-технологических типа СД: амфотерно-легированные, диффузионные и светодиоды с двойным гетеропереходом.

Светодиоды, излучающие свет в ближней инфракрасной области, наиболее распространены для применения в космическом пространстве. Обычно эти типы СД создаются либо с использованием амфотерного легирования, либо с использованием гетеропереходов [1, 2].

Среди всех типов светодиодов, наиболее чувствительными к радиационному облучению являются амфотерно-легированные СД. Это связано, в первую очередь, с широкими  $p$ - $n$ -переходами, которые формируются в процессе амфотерного легирования. Для эффективной работы таких СД требуется высокое значение времени жизни носителей заряда, чтобы минимизировать вклад без излучательной рекомбинации.

Однако, чем выше исходное значение времени жизни носителей заряда, тем сильнее оно подвержено деградации при радиационном облучении. В то же время, диффузионные СД и СД с двойным гетеропереходом обычно проявляют признаки деградации только при значительно более высоких уровнях радиационного воздействия. Обычно, это те уровни, при которых проявляется эффект снижения концентрации носителей заряда.

Для установления связи между световым выходом и уровнем радиационного воздействия используется следующая формула:

$$\left( \frac{P_0}{P_\phi} \right)^n - 1 = \tau_0 K_t \Phi, \quad (5)$$

где  $P_0$  и  $P_\phi$  – световой выход светодиода до и после облучения с флюенсом  $\Phi$ ;  $\tau_0$  – является начальным временем жизни ННЗ;  $n$  – является параметром аппроксимации, который обычно выбирается из диапазона  $2/3 \leq n \leq 1$ ;  $K_t$  – коэффициент, обозначающий радиационное изменение времени жизни ННЗ.

В СД степень деградации при радиационном облучении обычно уменьшается с увеличением рабочего тока. Таким образом, максимальную деградацию при облучении обычно вызывает режим с минимальным рабочим током.

Внутренний световой выход СД может частично восстанавливаться, когда через диод проходит рабочий ток после облучения. Этот процесс, известный как «отжиг», наиболее ярко выражен в амфотерно легированных СД. В отличие от этого, для диодов с двойными гетеропереходами такой эффект обычно не характерен.

## Проблема космического мусора

Проблема космического мусора, особенно при рассмотрении ядерных взрывов в космосе, представляет собой значительную проблему для космической деятельности. Космический мусор, относится к нефункционирующим искусственным объектам в космическом пространстве, включая отработанные ступени ракет, обломки спутников и фрагменты, образованные в результате столкновений или других деструктивных событий. Ядерные взрывы в космосе могут увеличить эту проблему, поскольку они способны генерировать большое количество дополнительных осколков и фрагментов.

При ядерном взрыве в космическом пространстве, в отличие от взрыва в атмосфере Земли, отсутствует ударная волна, так как нет атмосферы для ее передачи. Однако энергия взрыва все равно распределяется, преимущественно в форме радиационного излучения и высокоэнергетических частиц. Эти частицы и излучение могут взаимодействовать с окружающими космическими объектами, вызывая их физическое разрушение или ухудшение функционального состояния.

Одним из главных последствий ядерного взрыва в космосе является создание большого количества космического мусора. Этот мусор состоит из мелких и крупных фрагментов, которые могут включать остатки самого ядерного устройства, а также обломки разрушенных им космических аппаратов. Эти фрагменты могут оставаться на орбите на протяжении многих лет или даже десятилетий, представляя угрозу для других космических аппаратов, включая спутники и международную космическую станцию.

Рассеяние осколков в космическом пространстве можно описать с помощью кинематических и динамических уравнений. Осколки, получившие достаточную кинетическую энергию, могут покинуть первоначальную орбиту и перемещаться по более сложным траекториям. Их движение можно анализировать, используя уравнения Ньютона и законы Кеплера.

С увеличением количества космического мусора возрастает вероятность столкновений между фрагментами, что может привести к эффекту Кesslera – цепной реакции, при которой столкновения порождают еще больше мусора, дополнительно усугубляя ситуацию.

## Ударные волны и тепловое воздействие

В отличие от земных условий, где ударная волна распространяется через атмосферу, в космосе отсутствует среда для передачи ударной волны традиционным способом. Однако это не означает, что спутники находятся в полной безопасности от физических эффектов взрыва. В космическом пространстве, основным механизмом передачи энергии от ядерного взрыва является излучение, такое как интенсивное тепловое и рентгеновское излучение. Это излучение способно нагревать поверхность спутников, что может привести к их термическому повреждению [2 – 4].

Для описания ударных волн используется уравнение Рэля-Плессе:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{2\gamma M^2 - (\gamma - 1)}{\gamma + 1}, \quad (6)$$

где  $P_2/P_1$  – отношение давления после и до ударной волны;  $\gamma$  – адиабатический индекс газа,  $M$  – число Маха ударной волны.

Тепловые эффекты особенно опасны для спутников с деликатными оптическими и электронными компонентами, которые могут быть повреждены или разрушены из-за перегрева. Стоит также учитывать, что даже если спутник находится на значительном расстоянии от места взрыва, он все равно может подвергаться воздействию излучения, которое распространяется на большие дистанции в космическом пространстве.

Теплопередача может быть описана законом Фурье для теплопроводности:

$$q = -k\nabla T, \quad (7)$$

где  $q$  – плотность теплового потока;  $k$  – теплопроводность материала;  $\nabla T$  – температура градиент.

В случае излучения теплопередача описывается законом Стефана-Больцмана:

$$P = \epsilon \sigma AT^4, \quad (8)$$

где  $P$  – мощность излучения;  $\epsilon$  – излучательная способность поверхности;  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $A$  – площадь поверхности;  $T$  – температура в Кельвинах.

### **Изменения в орбитальных траекториях**

Ядерные взрывы в космическом пространстве могут оказывать влияние на орбитальные траектории космических объектов, в том числе спутников. Это воздействие происходит из-за динамических сил, возникающих в результате взрыва, и изменений в условиях окружающего космического пространства. Когда ядерный взрыв происходит в космосе, он генерирует волну высокоэнергетических частиц и излучения, которая может влиять на движение близлежащих объектов.

Основным фактором, влияющим на орбитальные траектории, является реакция на силы, возникающие в результате взрыва. В зависимости от расстояния и положения относительно взрыва, космические объекты могут испытывать различные уровни воздействия. Например, если взрыв происходит достаточно близко к спутнику, он может испытать непосредственное ускорение или замедление, что приведёт к изменению его орбиты. Это может сделать орбиту более эллиптической или изменить её инклинацию, что потребует коррекции для восстановления первоначальной траектории.

Даже небольшие изменения в орбитальной траектории спутника могут иметь серьёзные последствия. Например, спутники, предназначенные для геостационарной орбиты, должны поддерживать строго определённое положение относительно Земли. Изменение их орбиты может нарушить связь или качество сигнала, что потребует дополнительных ресурсов для восстановления положения.

Кроме того, изменение орбиты может повысить риск столкновения с другими космическими объектами, включая космический мусор, что усугубляет уже существующую проблему безопасности в космическом пространстве. Это особенно актуально в условиях насыщенных орбит, где даже малейшие изменения могут привести к цепной реакции столкновений [5, 8].

### **Сбои в системах связи и навигации**

Ядерные взрывы в космическом пространстве могут вызвать значительные нарушения в системах связи и навигации, которые являются критически важными для современной инфраструктуры и общества. Эти системы включают в себя спутниковую связь, GPS (глобальные навигационные спутниковые системы) и другие спутниковые технологии, обеспечивающие глобальную связь и навигацию. Электромагнитный импульс (ЭМИ), возникающий в результате ядерного взрыва, способен нанести существенный ущерб электронике спутников. Электромагнитный импульс может вызвать кратковременные или долгосрочные перебои в работе спутников, нарушая нормальную передачу данных и сигналов. Например, в системах спутниковой связи могут возникать проблемы с поддержанием стабильного соединения, в результате чего пользователи могут столкнуться с перебоями в доступе к телекоммуникационным услугам. В случае глобальных навигационных спутниковых систем, таких как GPS, воздействие ЭМИ или радиации может привести к неточности или полной потере сигнала. Так как многие критически важные системы, включая транспорт и логистику, аварийные службы и военные операции, зависят от точной спутниковой навигации, последствия таких сбоев могут быть значительными [5, 11].

## Заключение

Анализ последствий ядерного взрыва в космическом пространстве для спутников подчеркивает сложность и многообразие угроз, с которыми сталкивается космическая инфраструктура. Эти угрозы охватывают широкий спектр последствий, начиная от непосредственного физического воздействия на спутники и заканчивая долгосрочными изменениями в условиях космической среды. Основными факторами риска являются электромагнитные импульсы, радиационное воздействие, увеличение количества космического мусора, изменения орбитальных траекторий и сбои в системах связи и навигации.

Эти факторы требуют комплексного подхода к разработке и эксплуатации космических аппаратов. Важно учитывать потенциальные риски и разрабатывать защитные механизмы, способные минимизировать возможные повреждения и гарантировать стабильную работу спутников даже в условиях экстремального космического воздействия. Это включает в себя использование радиационно-защитных материалов, разработку надежных электронных компонентов, а также внедрение систем отказоустойчивости.

Кроме технических аспектов, важную роль играет международное сотрудничество и законодательная регуляция космической деятельности. Необходимо разрабатывать и соблюдать международные нормы и соглашения, направленные на предотвращение космических конфликтов и ограничение использования ядерных технологий в космосе. Это обеспечит не только безопасность космических аппаратов, но и защиту глобальной космической инфраструктуры.

### Список источников:

1. Любомудров А.А. Теоретические основы физических процессов ядерного взрыва // Учебное пособие. – М.: Физматлит, 2017. – 320 с.
2. Современное состояние элементной базы космического назначения / П.П. Куцко, В.К. Зольников, С.А. Евдокимова [и др.] // Современные аспекты моделирования систем и процессов: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – Воронеж, 2021. – С. 264-269.
3. Лазерное моделирование разрушительного воздействия ядерных взрывов на опасные астероиды / Е.Ю. Аристова, А.А. Аушев, В.К. Баранов и др. / Труды РФЯЦ-ВНИИЭФ. – 2020. – Т. 25-2. – С. 16-37.
4. Исследования и математическое моделирование явлений, связанных с развитием и воздействием взрывов: монография / В.А. Андрущенко, Е.Л. Ступицкий, Д.С. Моисеева и др. – Москва, 2020. – 192 с.
5. Методы обеспечения стойкости электронной компонентной базы к одиночным событиям путем резервирования / А.Е. Козюков, В.К. Зольников, С.А. Евдокимова и др. / Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14. – № 1. – С. 10-16.
6. Radiation situation at the “pirit” peaceful underground nuclear explosion site / Biblin A.M., Khramtsov E.V. et al. // Radiation Hygiene. – 2022. – Т. 15. – № 4. – С. 149-161.
7. Математическое и программное обеспечение для моделирования тепловых процессов внутри твердого многослойного тела / М.Н. Аралов, А.В. Ачкасов и др. // Телекоммуникации. – 2017. – № 3. – С. 13-19.

### References:

1. Lyubomudrov A.A. Theoretical Foundations of the Physical Processes of a Nuclear Explosion; 2017.
2. Kutsko P.P., Zolnikov V.K., Evdokimova SA, et al. Current State of the Space Element Base. In: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference on Modern Aspects of Modelling Systems and Processes; Voronezh: 2021. p. 264-269.
3. Aristova E.Y., Aushev A.A., Baranov V.K., Belov I.A., Belkov S.A., Voronin A.Yu., et al. Laser Modelling of the Destructive Effects of Nuclear Explosions on Dangerous Asteroids. Proceedings of the RFNC-VNIIEF. 2020;25-2:16-37.
4. Andrushchenko V.A., Stupitsky E.L., Moiseeva D.S., Motorin A.A., Murashkin I.V. Research and Mathematical Modelling of Phenomena Related to the Development and Impact of Explosions. Moscow; 2020.
5. Kozyukov A.E., Zolnikov V.K., Evdokimova S.A., et al. Methods of Ensuring the Resistance of an Electronic Component Base to Single Events by Redundancy. Modelling of Systems and Processes. 2021;14(1):10-16.
6. Biblin A.M., Khramtsov E.V., Repin V.S., Ivanov S.A., Varfolomeeva K.V., et al. Radiation Situation at the “Pirit” Peaceful Underground Nuclear Explosion Site. Radiation Hygiene. 2022;15(4):149-161.
7. Aralov M.N., Achkasov A.V., Barabanov V.F., Podvalny S.L. Mathematical and Software for Modelling Thermal Processes Inside a Solid Multilayer Body. Telecommunications. 2017;3:13-19.



8. Алешин Д.Б., Новоселов Д.И., Куршанов Ю.В. Анализ информации по развитию систем и средств обнаружения и засечки ядерных взрывов // Актуальные вопросы естествознания. Сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. – 2023. – С. 419-422.

9. Разработка математических моделей физических процессов в разнородной многослойной структуре при радиационном воздействии / К.А. Чубур, И.И. Струков, С.А. Евдокимова и др. // Моделирование систем и процессов. – 2002. – Т. 15. – № 1. – С. 43-51.

10. Рытов М.Ю., Лексиков Е.В. Формализация методов анализа рисков информационной безопасности // Вестник БГТУ. – 2013. – № 3. – С. 141-146.

11. Managing the Process of Protection Level Assessment of the Complex Organization and Technical Industrial Enterprises / M.Yu. Rytov, A.P. Gorlov et. al. // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 803 (2017) 012051. P. 6.

### **Информация об авторах:**

#### **Ягодкин Александр Сергеевич**

кандидат физико-математических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

#### **Анциферова Валентина Ивановна**

кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

#### **Скворцова Татьяна Владимировна**

кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова

#### **Рытов Михаил Юрьевич**

кандидат технических наук, доцент Брянского государственного технического университета

#### **Шкаберин Виталий Александрович**

кандидат технических наук, первый проректор по учебной работе Брянского государственного технического университета

8. Aleshin D.B., Novoselov D.I., Kurshanov Yu.V. Frolova TV, editor. Analysis of Information on the Development of Systems and Means for Detecting and Detecting Nuclear Explosions. In: Proceedings of the 8th All-Russian Scientific and Practical Conference on Topical Issues of Natural Science; Ivanovo: 2023. p. 419-422.

9. Chubur K.A., Strukov I.I., Evdokimova S.A., Belokurov VP, Platonov AD, et al. Development of Mathematical Models of Physical Processes in a Heterogeneous Multilayer Structure Under Radiation Exposure. Modelling of Systems and Processes. 2002;15(1):43-51.

10. Rytov M.Yu., Leksikov E.V. Formalization of Information Security Risk Analysis Methods. Bulletin of BSTU. 2013;3:141-146.

11. Rytov M.Yu., Gorlov A.P., Averchenkov V.I., Eremenko V.I. Managing the Process of Protection Level Assessment of the Complex Organization and Technical Industrial Enterprises. Journal of Physics: Conf. Series; 2017;803(1):012051.

### **Information about the authors:**

#### **Yagodkin Alexander Sergeevich**

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

#### **Antsiferova Valentina Ivanovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

#### **Skvortsova Tatyana Vladimirovna**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov

#### **Rytov Mikhail Yuryevich**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Bryansk State Technical University

#### **Shkaberin Vitaly Aleksandrovich**

Candidate of Technical Sciences, First Vice-Rector for Academic Affairs of Bryansk State Technical University

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 17.04.2024; принята к публикации 03.10.2024.**

**The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 17.04.2024; accepted for publication 03.10.2024.**

**Рецензент – Малаханов А.А., кандидат технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.**

**Reviewer – Malakhanov A.A., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.**

## Электротехнические комплексы и системы

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 621.315

doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-82-96

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ИНДУКТИВНОСТИ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЕМКОСТИ ТОКОПРОВОДЯЩИХ ЖИЛ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ НА НОМИНАЛЬНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ДО 3 кВ

Максим Леонидович Коровин<sup>1</sup>, Дмитрий Олегович Сорока<sup>2</sup>,  
Михаил Юрьевич Куликов<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Институт конструкторско-технологической информатики Российской академии наук,  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup> corovinmaksim@yandex.ru

<sup>2</sup> dmitrysoroka96@gmail.com

<sup>3</sup> muk.56@mail.ru

**Аннотация.** Разработана методика расчета индуктивности и электрической емкости токопроводящих жил силовых кабелей. Цель работы – разработать такую методику расчета индуктивности и электрической емкости, которая бы обеспечивала оптимальную точность расчета в совокупности с наименьшими трудозатратами. Приведены основные этапы разработки методики расчета индуктивности и электрической емкости для одно-, двух-, трех-, четырех- и пятижильных конструкций силовых кабелей на номинальное напряжение до 3 кВ. Главную сложность в разработке математической модели представляет расчет средних геометрических расстояний между центрами токопроводящих жил, особенно сильно эта проблема проявляется при определении геометрических параметров токопроводящих жил секторной формы. Секторные токопроводящие жилы благодаря своей геометрической форме затруднительно описать известными математическими зависимостями, поэтому для определения геометрических параметров секторных жил был применен графический метод. Необходимые сектора были построены в программе КОМПАС-3D, в ней же и проведены измерения требующихся параметров. Также в работе произведен анализ разницы значений индуктивности и электрической емкости на примере кабеля марки ВВГ с круглыми и секторными жилами, построены сравнительные графики и даны рекомендации по особенностям применения предложенной методики расчета.

**Ключевые слова:** методика, расчет, силовой кабель, токопроводящая жила, изолированная токопроводящая жила, среднее геометрическое расстояние, индуктивность, электрическая емкость

**Для цитирования:** Коровин М.Л., Сорока Д.О., Куликов М.Ю. Разработка методики расчета индуктивности и электрической емкости токопроводящих жил силовых кабелей на номинальное напряжение до 3 кВ // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №4 (26). С. 82-96. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-82-96.

Original article

Open Access Article

### DEVELOPING A METHOD FOR CALCULATING THE INDUCTANCE AND CAPACITANCE OF CONDUCTIVE CORES OF POWER CABLES FOR RATED VOLTAGE OF UP TO 3 kV

Maxim L. Korovin<sup>1</sup>, Dmitry O. Soroka<sup>2</sup>, Mikhail Yu. Kulikov<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow,  
Russia

<sup>1</sup> corovinmaksim@yandex.ru

<sup>2</sup> dmitrysoroka96@gmail.com

<sup>3</sup> muk.56@mail.ru

**Abstract.** *The authors develop a method for calculating the inductance and capacitance of conductive cores of power cables. The aim of the work is to carry out a method for calculating inductance and capacitance that would ensure optimal calculation accuracy together with the least labour costs. The main stages of developing a method for calculating inductance and capacitance for one-core, two-core, three-core, four-core and five-core structures of power cables for rated voltages of up to 3 kV are presented. The main difficulty in developing a mathematical model is calculating the average geometric distances between the centres of conductive cores; this problem is especially vital when determining the geometric parameters of sector-shaped conductive cores. Due to their geometric shape, sector-shaped conductive cores are difficult to describe using known mathematical relationships; therefore, a graphical method is applicable to determine the geometric parameters of sector-shaped cores. The authors construct the needed sectors in the KOMPAS-3D program, and measure the required parameters in it. The paper also analyzes the difference in inductance and capacitance values using the example of VVG cable with round and sector cores, constructs comparative graphs, and provides recommendations on the specifics of using the proposed calculation method.*

**Keywords:** method, calculation, power cable, conductive core, insulated conductive core, geometric mean distance, inductance, electrical capacitance

**For citation:** Korovin M.L., Soroka D.O., Kulikov M.Yu. Developing a Method for Calculating the Inductance and Capacitance of Conductive Cores of Power Cables for Rated Voltage of up to 3 kV. Automation and modeling in design and management, 2024, no. 4 (26). pp. 82-96. doi: 10.30987/2658-6436-2024-4-82-96.

## Введение

Кабель – это изделие, содержащее одну или более изолированных жил (проводников), заключенных в металлическую или неметаллическую оболочку, поверх которой, в зависимости от условий прокладки и эксплуатации, может иметься соответствующий защитный покров (возможно, с броней), и пригодное, в частности в земле или под водой [1]. В частности, силовой кабель – это кабель для передачи электрической энергии токами промышленных частот [2].

Согласно ГОСТ 31996-2012 по количеству токопроводящих жил (ТПЖ) силовые кабели с пластмассовой изоляцией на напряжение до 3 кВ могут быть: одножильные, двухжильные, трехжильные, четырехжильные и пятижильные. По конструктивному исполнению токопроводящих жил: круглые и секторные [3]. Также ТПЖ могут иметь дополнительные огнестойкие барьерные слои. Все эти конструктивные особенности необходимо учитывать при расчете индуктивности и электрической емкости ТПЖ кабелей.

Значение индуктивности ТПЖ необходимо рассчитывать для определения реактивного (индуктивного) сопротивления жил, токов прямой, обратной и нулевой последовательности, которые необходимы для расчета токов короткого замыкания в электросетях.

На практике для безаварийной эксплуатации электрических сетей необходимо на стадии проектирования осуществить проверку ряда силового оборудования, исходя из расчетных значений токов короткого замыкания: силовые выключатели, разъединители, трансформаторы тока и др. [4]

Проверка выключателей осуществляется по следующим критериям [4]: коммутационной способности; электродинамической стойкости; термической стойкости.

Определение электрической емкости ТПЖ необходимо для расчета тока заряда на фазу и для расчета емкостного тока короткого замыкания на землю.

Актуальность данной работы заключается в том, что индуктивность и электрическая емкость ТПЖ являются важными характеристиками, расчет которых необходим для правильного проектирования электрических сетей и подбора силового оборудования.

## Постановка проблемы

Методика расчета индуктивности и электрической емкости, которую рассмотрим далее, связана с расчетом геометрических параметров изолированных жил. Особую сложность представляет расчет средних расстояний между центрами ТПЖ, особенно эта проблема касается секторных ТПЖ, геометрические параметры которых затруднительно описать известными математическими зависимостями.

В данной статье, помимо математического метода расчета геометрических параметров ТПЖ, будет также рассмотрен и геометрический метод, основанный на использовании дополнительного программного обеспечения.

Целью данной работы является разработка такой математической модели расчета индуктивности и электрической емкости, которая бы обеспечивала требуемую точность расчета в совокупности с приемлемыми трудозатратами. Также необходимо дать рекомендации по особенностям применения предложенной математической модели.

## Результаты исследования

*Методика расчета индуктивности ТПЖ.* При расчете индуктивности следует иметь в виду, что сопротивление некоторых конструкций кабелей не является симметричным, например, четырёхжильных кабелей или одножильных кабелей, расположенных в одной плоскости. В этом случае при расчётах вводят понятие средней индуктивности  $L_a$ , которую можно рассчитать по формуле [5]:

$$L_a = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l_{ad}}{D_c} \right) + \frac{1}{4} \right), \quad (1)$$

где  $\mu$  – абсолютная магнитная проницаемость материала (Гн/м);  $l_{ad}$  – среднее расстояние между центрами жил кабеля (мм).

$$\mu = \mu_r \cdot \mu_0, \quad (2)$$

где  $\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость материала;  $\mu_0$  – магнитная постоянная ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  Гн/м).

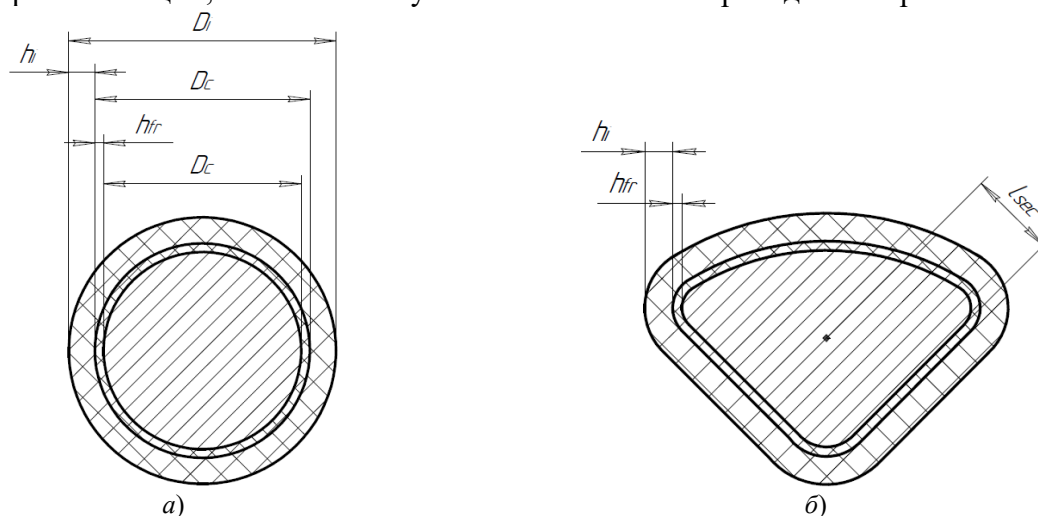
Перед определением средних расстояний между центрами жил кабеля, необходимо отметить что понимается под данной величиной.

Нижеуказанная методика определения среднего расстояния основана на допущении, заключающемся в том, что все геометрические параметры кабеля не отклоняются от своих номинальных значений. Исходя из этого, можно утверждать, что среднее расстояние между центрами ТПЖ является средним геометрическим расстоянием. В таком случае данную величину можно определить по формуле:

$$l_{ad} = \sqrt[n]{l_1 \cdot l_2 \cdot \dots \cdot l_n}. \quad (3)$$

В данной статье рассмотрим две возможные конструкции ТПЖ: круглую и секторную. Наиболее широкое распространение получили ТПЖ круглой формы благодаря более простой технологии изготовления и оптимальным эксплуатационным характеристикам. Секторные ТПЖ нашли применение в силовых кабелях на номинальное напряжение до 3 кВ (согласно ГОСТ 31996-2012). Данная конструкция сложнее с точки зрения технологии изготовления, но в конечном итоге позволяет снизить массогабаритные параметры кабеля. Это позволяет несколько уменьшить себестоимость кабеля (за счет меньших затрат материалов), упростить его перевозку (за счет меньшей массы) и прокладку (за счет меньших габаритов).

Введем некоторые геометрические параметры, которые будут рассматриваться далее:  $D_c$  – диаметр ТПЖ, мм;  $l_s$  – расстояние от центра секторной ТПЖ до ее края, мм;  $h_{fr}$  – толщина барьерного слоя для огнестойких кабелей, мм (данная величина применима к кабелям в исполнении «FR»);  $D_{fr}$  – диаметр по огнестойкому барьеру, мм;  $h_i$  – толщина изоляции, мм;  $D_i$  – диаметр по изоляции, мм. Все вышеуказанные величины приведены на рис. 1.



**Рис. 1. Геометрические параметры изолированной ТПЖ:**

*a* – круглой формы; *b* – секторной формы

**Fig. 1. Geometrical parameters of insulated conductive core:**

*a* – round shape; *b* – sector shape

Центром ТПЖ круглой формы является центр окружности. Чтобы найти центр ТПЖ секторной формы необходимо сделать дополнительные построения (рис. 2).

Через две боковые стороны сектора проведем две прямые, а третью прямую проведем перпендикулярно к дуге сектора. Точки пересечения прямых образуют равнобедренный треугольник, в который можно вписать окружность с центром в точке  $O$ . Данный центр окружности также является точкой пересечения биссектрис треугольника.

Исходя из вышесказанного, точка  $O$  будет являться геометрическим центром сектора.

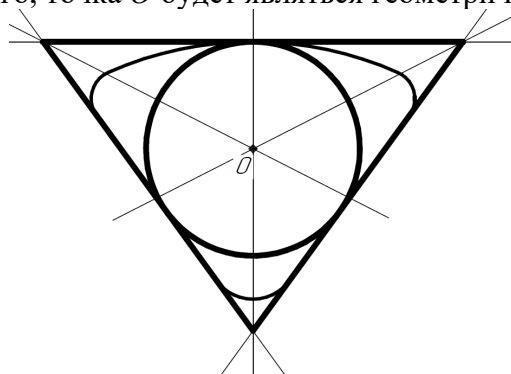


Рис. 2. Дополнительные построения для определения центра секторной ТПЖ  
Fig. 2. Additional constructions for determining the center of the sector current-carrying core

*Одножильный кабель.* При расчете индуктивности ТПЖ одножильного кабеля, учитывается прокладка трех одножильных кабелей в одной плоскости, либо треугольником (рис. 3). Центры ТПЖ отмечены буквами  $A$ ,  $B$  и  $C$ .

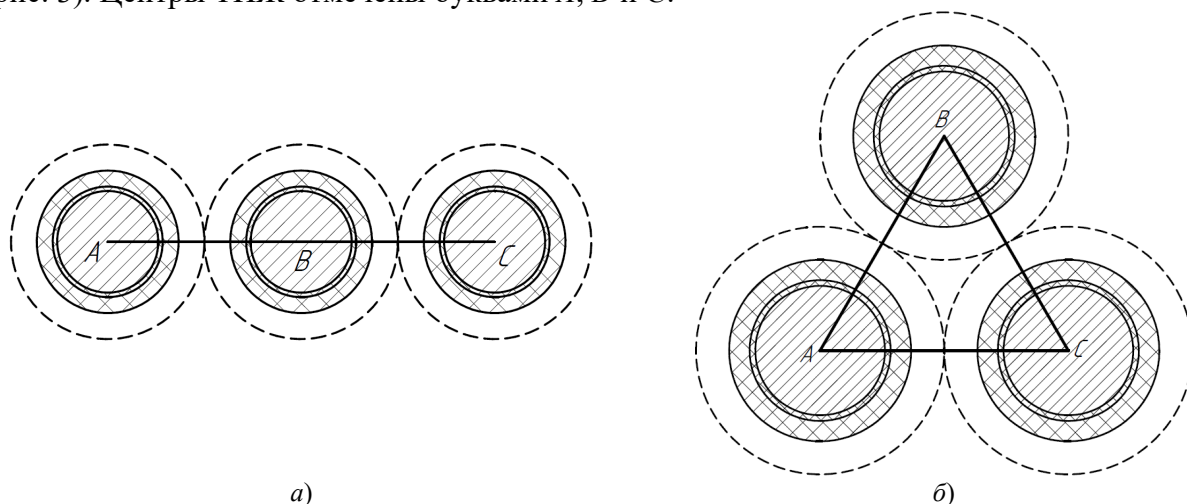


Рис. 3. Схематичное изображение прокладки трех одножильных кабелей  
 $a$  – в одной плоскости;  $b$  – треугольником

Fig. 3. Schematic illustration of the installation of three single-core cables  
 $a$  – in one plane;  $b$  – a triangle

Необходимо принять допущение, что прокладка кабелей осуществляется вплотную, потому можно утверждать, что расстояние  $AB = BC$ . Чтобы вычислить среднее расстояние между центрами жил достаточно определить расстояние  $AB$ .

Конструкции одножильных кабелей довольно разнообразны. Помимо изолированной жилы и внешней оболочки конструкция кабеля может иметь элементы герметизации, металлический экран или броню.

Исходя из вышесказанного, распишем формулу для определения расстояния  $AB$ , основываясь на геометрических параметрах изолированной ТПЖ (см. рис. 1.), описанных ранее:

$$AB = BC = 2 \cdot \left( \frac{D_c}{2} + h_{fr} + h_i + \dots + h_n \right); \quad (4)$$

$$AB = BC = D_c + 2h_{fr} + 2h_i + \dots + 2h_n, \quad (5)$$

где  $h_n$  – толщина конструктивного элемента кабеля (герметизирующий элемент,

металлический экран, броня, внешняя оболочка), наложенного поверх изолированной жилы.  
 Рассмотрим случай с прокладкой одножильных кабелей в одной плоскости (см. рис. 3, а).

Определим расстояние  $CA$ :

$$CA = AB + BC = 2 \cdot AB. \quad (6)$$

Теперь определим среднее геометрическое расстояние между центрами жил:

$$l_{ad1c} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA} = \sqrt[3]{AB \cdot AB \cdot 2AB} = \sqrt[3]{2AB^3} = \sqrt[3]{2} \cdot AB; \quad (7)$$

$$l_{ad1c} = \sqrt[3]{2} \cdot (D_c + 2h_{fr} + 2h_i + \dots + 2h_n). \quad (8)$$

Рассмотрим случай с прокладкой одножильных кабелей треугольником.

Рассмотрим  $\triangle ABC$  (см. рис. 3, б). Построим вписанную в  $\triangle ABC$  окружность с центром в точке  $O$  (рис. 4, а).

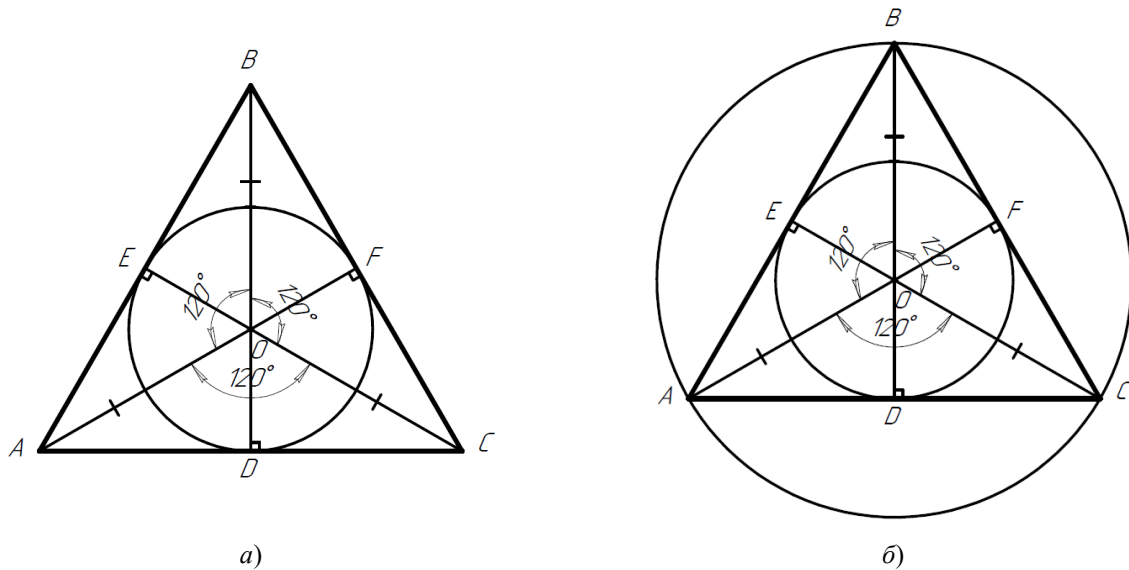


Рис. 4. Дополнительные построения для определения расстояний между центрами ТПЖ при прокладке трех одножильных кабелей треугольником

Fig. 4. Additional constructions for determining the distances between the centers of the conductive cores when laying three single-core cables in a triangle

При прокладке кабелей треугольником, центры жилы будут расположены под углом  $120^\circ$  ( $360^\circ / 3 = 120^\circ$ ) друг от друга, отсюда следует, что  $\angle AOB = \angle BOC = \angle AOC = 120^\circ$ .

Расстояния от центра координат до центров ТПЖ будут равны друг другу ( $BO = AO = CO$ ). Это также доказывается построением описанной окружности в центре в точке  $O$ . В этом случае  $BO$ ,  $AO$  и  $CO$  будут являться радиусами данной окружности (см. рис. 4, б).

Рассмотрим равнобедренный  $\triangle BOC$  ( $BO = CO$ ):  $FO$  в данном треугольнике является высотой, биссектрисой и медианой, отсюда следует, что  $\angle BOF = \angle COF = 120^\circ / 2 = 60^\circ$ . Отсюда следует, что  $\angle OBF = \angle OCF = 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ = 30^\circ$ .

Аналогично с  $\triangle BOA$  и  $\triangle AOC$ :  $\angle OBE = \angle OAE = \angle OAD = \angle OCD = 180^\circ - 60^\circ - 90^\circ = 30^\circ$ .

Следовательно,  $\angle ABC = \angle BCA = \angle BAC = 30^\circ + 30^\circ = 60^\circ$ . Отсюда можно утверждать, что  $\triangle ABC$  является равносторонним и  $AB = BC = CA$ .

$$AB = BC = CA = 2 \cdot \left( \frac{D_c}{2} + h_{fr} + h_i + \dots + h_n \right); \quad (9)$$

$$AB = BC = CA = D_c + 2h_{fr} + 2h_i + \dots + 2h_n. \quad (10)$$

Согласно формуле (3) среднее геометрическое расстояние между центрами ТПЖ при прокладке одножильных кабелей треугольником будет определяться по формуле:

$$l_{ad1c} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA}. \quad (11)$$

Так как  $AB = BC = CA$ :

$$l_{ad1c} = \sqrt[3]{AB^3} = AB = D_c + 2h_{fr} + 2h_i + \dots + 2h_n. \quad (12)$$

*Двухжильный кабель.* Схематичное изображение расположения изолированных жил в двухжильном кабеле приведено на рис. 5. Центры ТПЖ отмечены буквами *A* и *B*.

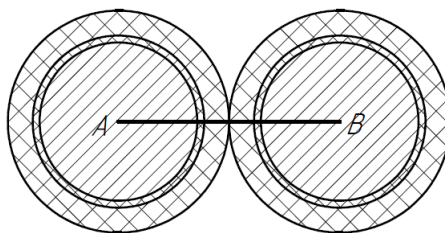


Рис. 5. Схематичное изображение расположения круглых изолированных ТПЖ в двухжильном кабеле  
 Fig. 5. Schematic illustration of the arrangement of round insulated conductors in a two-core cable

В кабелях данной конструкции среднее геометрическое расстояние между центрами ТПЖ определяется отрезком *AB*.

С учетом вышесказанного запишем:

$$l_{ad2c} = AB = D_c + 2h_{fr} + 2h_i. \quad (13)$$

*Трехжильный кабель.* Схематичное изображение расположения изолированных ТПЖ в трехжильном кабеле с круглыми ТПЖ приведено на рис. 6, *a*, с секторными ТПЖ – на рис. 6, *б*. Центры ТПЖ отмечены буквами *A*, *B* и *C*.

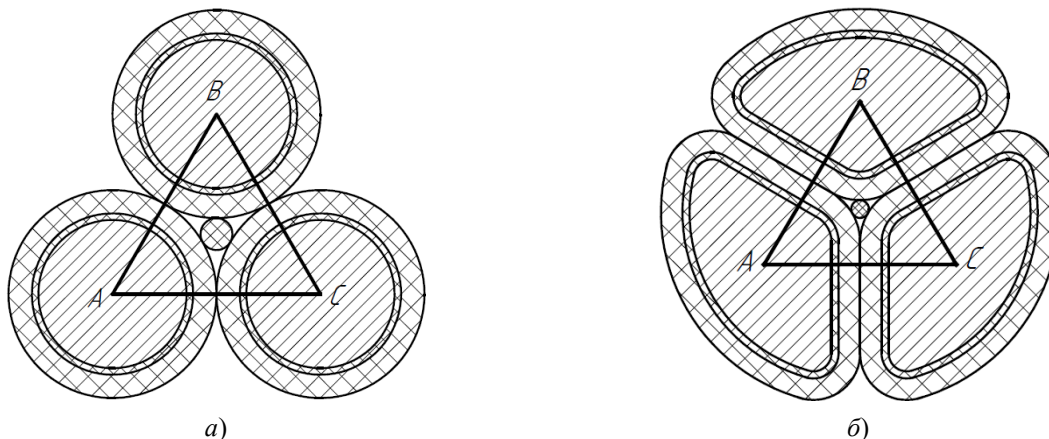


Рис. 6. Схематичное изображение расположения изолированных ТПЖ в трехжильном кабеле:  
*a* – с ТПЖ круглой формы; *б* – с ТПЖ секторной формы  
 Fig. 6. Schematic illustration of the arrangement of insulated conductive cores in a three-core cable  
*a* – with round conductive cores; *b* – with sector-shaped conductive cores

Рассмотрим равносторонний  $\triangle ABC$ . Доказательство равенства сторон треугольника аналогично случаю прокладки одножильных кабелей треугольником, описанному выше (см. рис. 3, *б*).

Исходя из вышесказанного можем записать:

$$AB = BC = CA = 2 \cdot \left( \frac{D_c}{2} + h_{fr} + h_i \right); \quad (14)$$

$$AB = BC = CA = D_c + 2h_{fr} + 2h_i. \quad (15)$$

Согласно формуле (3) среднее расстояние между центрами жил в трехжильном кабеле будет определяться по формуле:

$$l_{ad3c} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA}. \quad (16)$$

Так как  $AB = BC = CA$ :

$$l_{ad3c} = \sqrt[3]{AB^3} = AB = D_c + 2h_{fr} + 2h_i. \quad (17)$$

*Четырехжильный кабель.* Схематичное изображение расположения изолированных ТПЖ в четырехжильном кабеле с круглыми ТПЖ приведено на рис. 7, *a*, с секторными ТПЖ – на рис. 7, *б*. Центры ТПЖ отмечены буквами *A*, *B* и *C*.

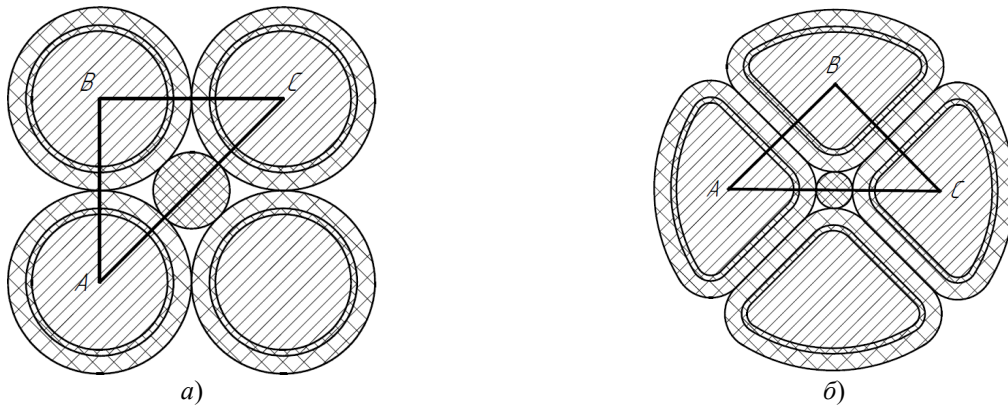


Рис. 7. Схематичное изображение расположения изолированных ТПЖ в четырехжильном кабеле:  
*a* – с ТПЖ круглой формы; *б* – с ТПЖ секторной формы

Fig. 7. Schematic illustration of the arrangement of insulated conductive cores in a four-core cable:  
*a* – with round conductive cores; *b* – with sector-shaped conductive cores

Рассмотрим  $\triangle ABC$  (рис. 8). Построим описанную окружность  $\triangle ABC$  с центром в точке  $O$  (см. рис. 8).

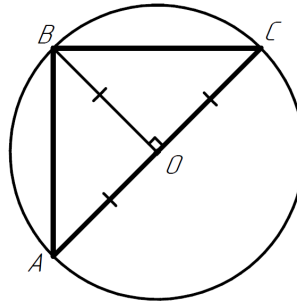


Рис. 8. Дополнительные построения для определения расстояний между центрами ТПЖ в четырехжильном кабеле

Fig. 8. Additional constructions for determining the distances between the centers of the conductive cores in a four-core cable

В четырехжильных кабелях жилы расположены под углом  $90^\circ$  ( $360^\circ / 4 = 90^\circ$ ), отсюда следует, что  $\angle BOC = \angle BOA = 90^\circ$ .  $AO = BO = CO$ , так как являются радиусами описанной окружности.

Рассмотрим  $\triangle BOC$ : данный треугольник является равнобедренным, соответственно углы при основании будут равны. Исходя из этого можем определить:  $\angle OBC = \angle OCB = = (180^\circ - 90^\circ) / 2 = 45^\circ$ .

Аналогично с  $\triangle BOA$ :  $\angle ABO = \angle BAO = (180^\circ - 90^\circ) / 2 = 45^\circ$ . Исходя из вышесказанного можем утверждать, что  $\triangle ABC$  является и прямоугольным, и равнобедренным:

- 1)  $\angle ABC = \angle ABO + \angle OBC = 45^\circ + 45^\circ = 90^\circ$ .
- 2)  $AB = BC$ .

По теореме Пифагора найдем сторону  $AC$ :

$$AC = \sqrt{AB^2 + BC^2}. \quad (18)$$

Так как  $AB = BC$ :

$$AC = \sqrt{2} \cdot AB. \quad (19)$$

Согласно формуле (3) среднее расстояние между центрами жил в четырехжильном кабеле будет определяться по формуле:

$$l_{ad4c} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA}. \quad (20)$$

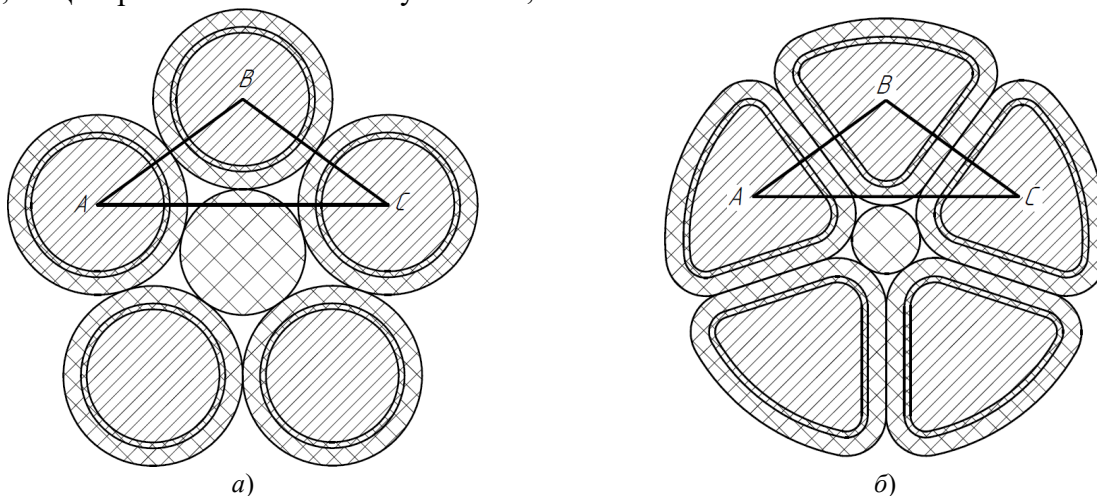
Подставим значение формулы (19) в формулу (20) и запишем:

$$l_{ad4c} = \sqrt[3]{AB^2 \cdot \sqrt{2} \cdot AB} = \sqrt[3]{AB^3 \cdot \sqrt{2}} = AB \cdot \sqrt[6]{2}; \quad (21)$$

$$l_{ad4c} = \sqrt[6]{2} \cdot (D_c + 2h_{fr} + 2h_i). \quad (22)$$



*Пятижильный кабель.* Схематичное изображение расположения изолированных ТПЖ в пятижильном кабеле с круглыми ТПЖ приведено на рис. 9, а, с секторными ТПЖ – на рис. 9, б. Центры ТПЖ отмечены буквами *A*, *B* и *C*.

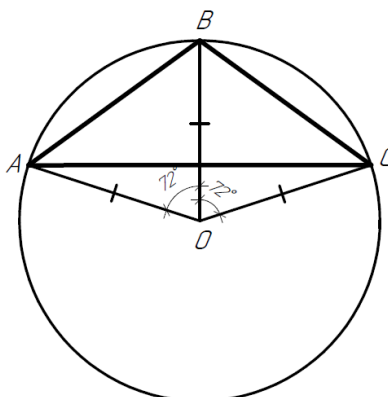


**Рис. 9.** Схематичное изображение расположения изолированных жил в пятижильном кабеле: а – с тпж круглой формы; б – с тпж секторной формы

**Fig. 9.** Schematic illustration of the arrangement of insulated conductive cores in a three-core cable: a – with round conductive cores; b – with sector-shaped conductive cores

Рассмотрим  $\triangle ABC$  (рис. 10) и дополнительно построим:

- 1) описанную окружность с центром точке *O*;
- 2) отрезки *AO*, *BO* и *CO*.



**Рис. 10.** Дополнительные построения для определения расстояний между центрами ТПЖ в пятижильном кабеле

**Fig. 10.** Additional constructions for determining the distances between the centers of the conductive cores in a five-core cable

Известно, что в пятижильных кабелях ТПЖ расположены под углом  $72^\circ$  ( $360^\circ / 5 = 72^\circ$ ) друг от друга. Исходя из этого можно утверждать, что  $\angle BOA = \angle BOC = 72^\circ$ .

Отрезки *AO*, *BO* и *CO* являются радиусами описанной окружности и равны друг другу.

Рассмотрим равнобедренный  $\triangle BOC$  ( $BO = CO$ ):  $\angle BCO = \angle OBC = (180^\circ - 72^\circ) / 2 = 54^\circ$ .

Рассмотрим равнобедренный  $\triangle BOA$  ( $BO = AO$ ):  $\angle ABO = \angle BAO = (180^\circ - 72^\circ) / 2 = 54^\circ$ .

$\triangle BOC = \triangle BOA$  по двум сторонам и углу между ними. Соответственно и  $AB = BC$ .

Следовательно,  $\triangle ABC$  является равнобедренным. Далее рассмотрим  $\triangle ABC$ :  $\angle ABC = \angle ABO + \angle CBO = 54^\circ + 54^\circ = 108^\circ$ .

$\angle BAC = \angle BCA$  (как углы при основании *AC*) =  $(180^\circ - 108^\circ) / 2 = 36^\circ$ .

Можем определить сторону *CA* по теореме косинусов:

$$CA^2 = AB^2 + BC^2 - 2 \cdot AB \cdot BC \cdot \cos(\angle ABC). \quad (23)$$

Так как  $AB = BC$ :

$$CA^2 = 2 \cdot AB^2 - 2 \cdot AB^2 \cdot \cos(\angle ABC); \quad (24)$$

$$CA^2 = 2 \cdot AB^2(1 - \cos(108^\circ)); \quad (25)$$

$$CA = \sqrt{2} \cdot AB \cdot \sqrt{(1 - \cos(108^\circ))} = \sqrt{2} \cdot AB \cdot 1,144. \quad (26)$$

Согласно формуле (3) среднее расстояние между центрами ТПЖ в пятижильном кабеле будет определяться по формуле:

$$l_{ad5c} = \sqrt[3]{AB \cdot BC \cdot CA}; \quad (27)$$

$$l_{ad5c} = \sqrt[3]{AB \cdot AB \cdot \sqrt{2} \cdot AB \cdot 1,144} = \sqrt[3]{AB^3 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,144} = AB \cdot \sqrt[6]{2} \cdot \sqrt[3]{1,144} = (D_c + 2h_{fr} + 2h_i) \cdot \sqrt[6]{2} \cdot \sqrt[3]{1,144}. \quad (28)$$

*Методика расчета электрической емкости ТПЖ.* Согласно п.2.2 ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2022 электрическую емкость ТПЖ кабеля можно определить по формуле [6]:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \ln\left(\frac{D_i}{D_c}\right)}, \quad (29)$$

где  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость изоляции кабеля.

Параметр  $\varepsilon$  определяется исходя из материала изоляции кабеля (см. табл. 3 ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2022).

Диаметр по изоляции ( $D_i$ ) определяется по формуле:

$$D_i = D_c + 2h_{fr} + 2h_i. \quad (30)$$

*Расчет индуктивности и электрической емкости ТПЖ.* Рассмотрим на примере конструкции кабеля ВВГ на номинальное напряжение 1 кВ (по ГОСТ 31996-2012) насколько отличаются индуктивность и электрическая емкость кабелей с круглыми и секторными ТПЖ (при условии равенства площади поперечного сечения ТПЖ). Согласно ГОСТ 31996-2012 секторные ТПЖ допускается применять в трех-, четырех- и пятижильных кабелях. Для отображения наглядного результата выберем пять номинальных сечений ТПЖ ( $S_n$ ): 70, 95, 150, 185 мм<sup>2</sup>.

Количество проволок в ТПЖ выберем согласно табл. 4 ГОСТ 22483-2012 [7].

Расчетный диаметр проволоки в ТПЖ ( $D_{wc}$ ) определим по формуле:

$$D_{wc} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_n}{n \cdot \pi}}, \quad (31)$$

где  $n$  – количество проволок в ТПЖ согласно ГОСТ 22483-2021.

Расчетный диаметр круглой ТПЖ ( $D_{cc}$ ) определим по формуле:

$$D_{cc} = (2 \cdot n_l - 1) \cdot D_{wc}, \quad (32)$$

где  $n_l$  – число повивов. Для 19-проволочной ТПЖ  $n_l = 3$ , для 37-проволочной ТПЖ  $n_l = 5$ .

Большую сложность представляет определение расстояния от центра секторной жилы до ее края ( $l_s$ ) и расчетной площади поперечного сечения секторной жилы ( $S_s$ ). Для этого воспользуемся графическим методом.

Построим в программе КОМПАС-3D сектора требуемого сечения по геометрическим параметрам, приведенным в табл. А.1 ГОСТ 31996-2012. Найдем геометрические центры данных секторов и измерим параметры  $l_s$  и  $S_s$ .

Для определения электрической емкости кабеля с секторными ТПЖ по формуле (4) необходимо найти ее эквивалентный диаметр:

$$D_{eqs} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_s}{\pi}}. \quad (33)$$

Все рассчитанные вышеуказанные параметры (по формулам (31)...(33)) приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Расчет геометрических параметров круглых и секторных ТПЖ 2 класса гибкости по ГОСТ 22483-2012**

Table 1

**Calculation of geometric parameters of round and sector-shaped conductive cores of 2nd flexibility class according to GOST 22483-2012**

	Трехжильный кабель					Четырехжильный кабель					Пятижильный кабель				
	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240
Номинальное сечение ТПЖ (Sn), мм <sup>2</sup>	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240
Количество проволок (n)	19	19	37	37	37	19	19	37	37	37	19	19	37	37	37
Расчетный диаметр проволоки (Dwc), мм	2,17	2,52	2,27	2,52	2,87	2,17	2,52	2,27	2,52	2,87	2,17	2,52	2,27	2,52	2,87
Расчетный диаметр круглой ТПЖ (Dcc), мм	9,75	11,36	14,32	15,90	18,11	9,75	11,36	14,32	15,90	18,11	9,75	11,36	14,32	15,90	18,11
Расстояние от центра секторной жилы до края (ls), мм	3,76	4,49	5,47	6,22	7,01	4,04	4,71	5,91	6,57	7,46	4,03	4,7	5,88	6,55	7,47
Площадь секторной ТПЖ (Ss), мм <sup>2</sup>	72,62	102,17	153,56	197,34	251,60	75,58	103,06	163,30	201,68	260,42	74,06	100,96	159,61	198,78	258,45
Эквивалентный диаметр секторной ТПЖ (Deqs), мм	9,62	11,41	13,99	15,86	17,90	9,81	11,46	14,42	16,03	18,21	9,71	11,34	14,26	15,91	18,14

При известных геометрических параметрах ТПЖ можем определить:

1. Индуктивность кабеля с круглыми ТПЖ –  $L_{rc}$  (по формуле (1)):

$$L_{rc} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l_{adr}}{D_{cc}} \right) + \frac{1}{4} \right), \quad (34)$$

где  $l_{adr}$  – среднее геометрическое между центрами ТПЖ круглой формы.

Для трехжильного кабеля с круглыми ТПЖ (по формуле (17)):

$$l_{ad3c} = l_{ad3r} = D_{cc} + 2h_i. \quad (35)$$

Значения толщины изоляции ( $h_i$ ) для кабеля ВВГ, в зависимости от площади поперечного сечения ТПЖ, указаны в табл. 2 [3].

Таблица 2

**Значение толщины изоляции в зависимости от площади поперечного сечения ТПЖ кабеля ВВГ на номинальное напряжение 1 кВ**

Table 2

**The value of the insulation thickness depending on the cross-sectional area of the conductive core of the VVG cable for a nominal voltage of 1 kV**

Номинальное сечение ТПЖ (Sn), мм <sup>2</sup>	70	95	150	185	240
Толщина изоляции (hi), мм	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2

Для четырехжильного кабеля с круглыми ТПЖ (по формуле (22)):

$$l_{ad4c} = l_{ad4r} = \sqrt[6]{2} \cdot (D_{cc} + 2h_i). \quad (36)$$

Для пятижильного кабеля с круглыми ТПЖ (по формуле (28)):

$$l_{ad5c} = l_{ad5r} = (D_{cc} + 2h_i) \cdot \sqrt[6]{2} \cdot \sqrt[3]{1,144}. \quad (37)$$

2. Электрическую емкость кабеля с ТПЖ круглой формы (по формуле (29)):

$$C_{rc} = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \ln \left( \frac{D_i}{D_{cc}} \right)} \quad (38)$$

Изоляция кабеля марки ВВГ изготавливается из ПВХ-пластиката, исходя из этого  $\varepsilon = 8$  (см. табл. 3 ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2022).

3. Индуктивность кабеля с секторными ТПЖ –  $L_{sc}$  (по формуле (1)):

$$L_{sc} = \frac{\mu}{2\pi} \cdot \left( \ln \left( \frac{2 \cdot l_{ads}}{D_{eqs}} \right) + \frac{1}{4} \right), \quad (39)$$

где  $l_{ads}$  – среднее геометрическое расстояние между центрами ТПЖ секторной формы.

Для трехжильного кабеля с секторными ТПЖ (по формуле (17)):

$$l_{ad3c} = l_{ad3s} = 2l_s + 2h_i. \quad (40)$$

Для четырехжильного кабеля с секторными ТПЖ (по формуле (22)):

$$l_{ad4c} = l_{ad4s} = \sqrt[6]{2} \cdot (2l_s + 2h_i). \quad (41)$$

Для пятижильного кабеля с секторными ТПЖ (по формуле (28)):

$$l_{ad5c} = l_{ad5s} = (2l_s + 2h_i) \cdot \sqrt[6]{2} \cdot \sqrt[3]{1,144}. \quad (42)$$

4. Электрическую емкость кабеля с ТПЖ секторной формы (по формуле (29)):

$$C_{sc} = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \ln \left( \frac{D_i}{D_{eqs}} \right)}. \quad (43)$$

Также проанализируем разницу (в процентном соотношении) в значениях между индуктивностью/электрической емкостью между кабелями с круглыми и секторными ТПЖ (одинакового сечения). Для этого воспользуемся формулами:

$$\frac{L_{rc} - L_{sc}}{L_{rc}}; \frac{C_{rc} - C_{sc}}{C_{rc}}. \quad (44)$$

Все расчеты, произведенные по формулам (34), (38), (39), (43) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Расчет индуктивности и электрической емкости трех-, четырех- и пятижильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ

Table 3

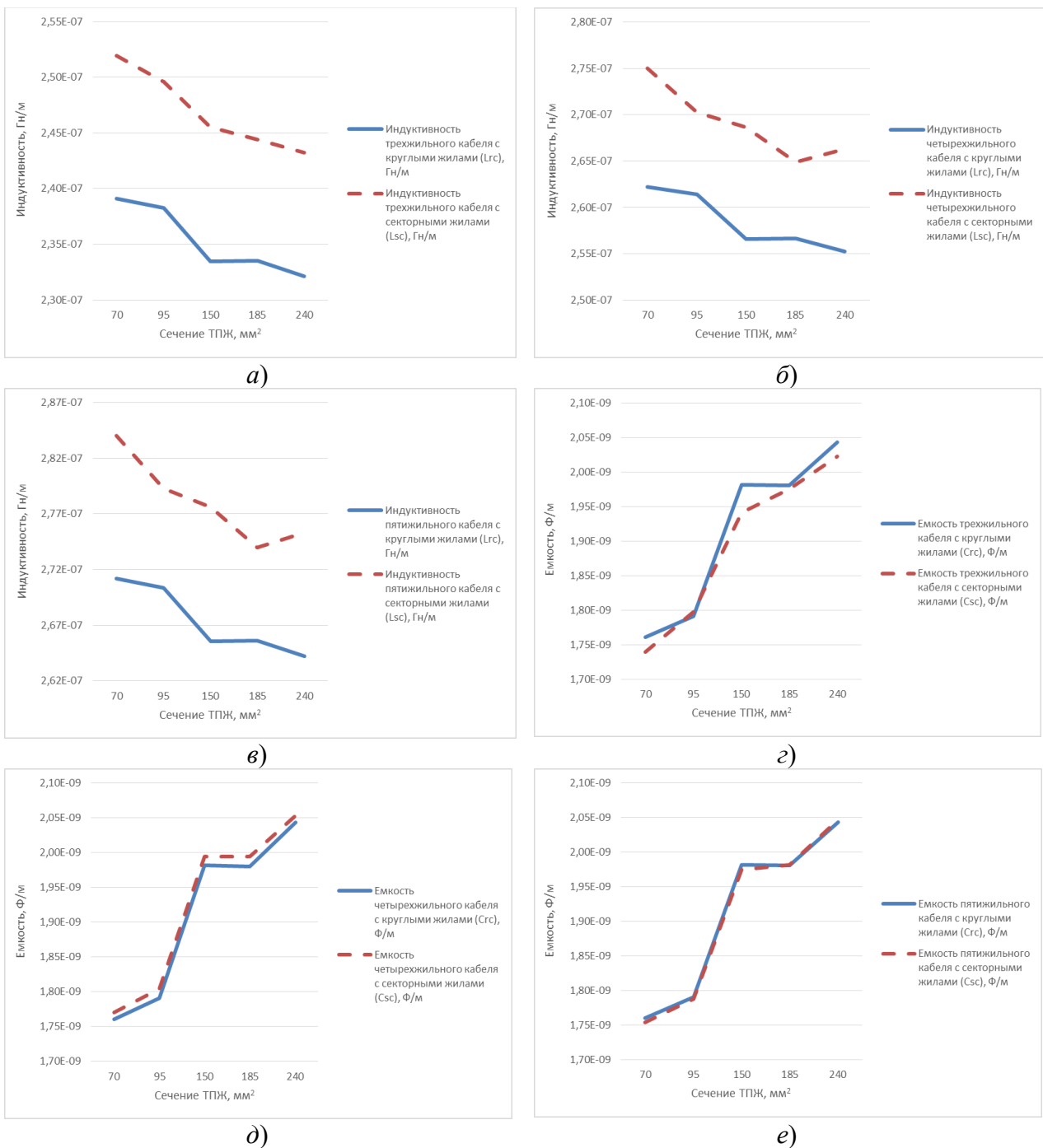
*Calculation of inductance and electrical capacitance of three-, four- and five-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores*

Номинальное сечение ТПЖ (Sn), мм <sup>2</sup>	Трехжильный кабель					Четырехжильный кабель					Пятижильный кабель				
	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240	70	95	150	185	240
Индуктивность кабеля с круглыми ТПЖ (Lrc), Гн/м	2,39E-07	2,38E-07	2,33E-07	2,34E-07	2,32E-07	2,62E-07	2,61E-07	2,57E-07	2,57E-07	2,55E-07	2,71E-07	2,70E-07	2,66E-07	2,66E-07	2,64E-07
Индуктивность кабеля с секторными ТПЖ (Lsc), Гн/м	2,52E-07	2,50E-07	2,46E-07	2,44E-07	2,43E-07	2,75E-07	2,70E-07	2,69E-07	2,65E-07	2,66E-07	2,84E-07	2,79E-07	2,78E-07	2,74E-07	2,75E-07
Емкость кабеля с круглыми ТПЖ (Crc), Ф/м	1,76E-09	1,79E-09	1,98E-09	1,98E-09	2,04E-09	1,76E-09	1,79E-09	1,98E-09	1,98E-09	2,04E-09	1,76E-09	1,79E-09	1,98E-09	1,98E-09	2,04E-09
Емкость кабеля с секторными ТПЖ (Csc), Ф/м	1,74E-09	1,80E-09	1,94E-09	1,98E-09	2,02E-09	1,77E-09	1,80E-09	1,99E-09	1,99E-09	2,05E-09	1,75E-09	1,79E-09	1,97E-09	1,98E-09	2,05E-09
Lrc-Lsc/Lrc	-5,36%	-4,75%	-5,16%	-4,66%	-4,78%	-4,89%	-3,38%	-4,69%	-3,22%	-4,35%	-4,72%	-3,31%	-4,54%	-3,17%	-4,20%
Crc-Csc/Crc	1,18%	-0,38%	2,06%	0,25%	1,04%	-0,54%	-0,79%	-0,63%	-0,73%	-0,50%	0,36%	0,13%	0,38%	-0,07%	-0,15%

По данным в табл. 3 построим:

- графики зависимостей индуктивности ТПЖ от площади поперечного сечения (рис. 11, а...в);
- графики зависимостей электрической емкости ТПЖ от площади поперечного сечения (рис. 11, г...е);
- сравнительный график зависимости индуктивности кабелей с круглыми ТПЖ и секторными ТПЖ (рис. 12);

– сравнительный график зависимости электрической емкости кабелей с круглыми ТПЖ и секторными ТПЖ (рис. 13).



**Рис. 11. Сравнительные графики:**

*a* – индуктивности трехжильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ; *б* – индуктивности четырехжильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ; *в* – индуктивности пятижильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ; *г* – емкости трехжильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ; *д* – емкости четырехжильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ; *е* – емкости пятижильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ

**Fig. 11. Comparative graphs:**

*a* – inductance of three-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores; *b* – inductance of four-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores; *c* – inductance of five-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores; *d* – capacity of three-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores; *e* – capacity of four-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores; *f* – capacity of five-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores

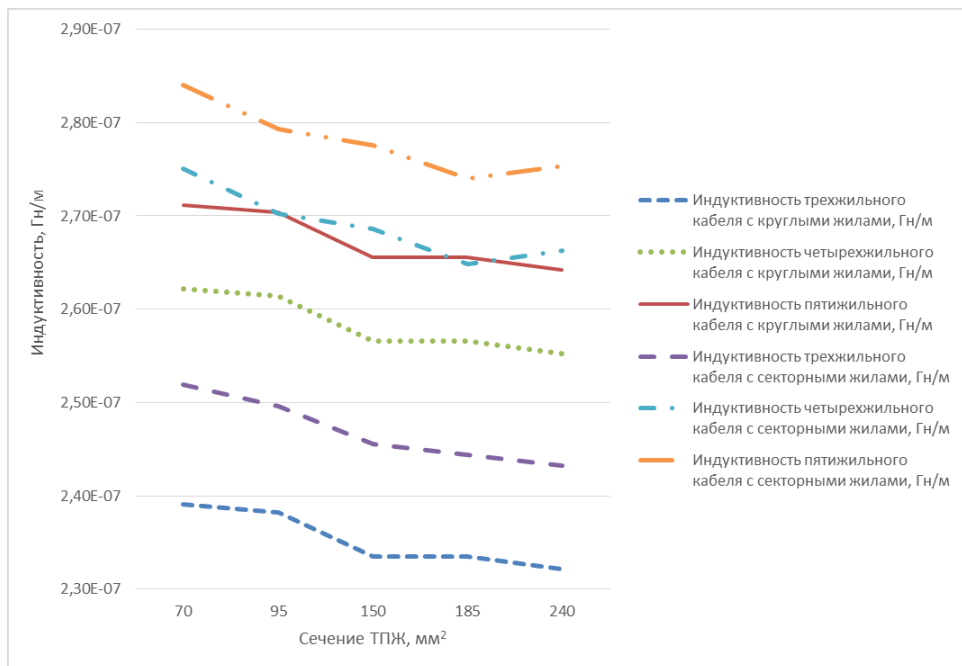


Рис. 12. Сравнительный график индуктивности трех-, четырех-, пятижильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ

Fig. 12. Comparative graph of inductance of three-, four-, five-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores

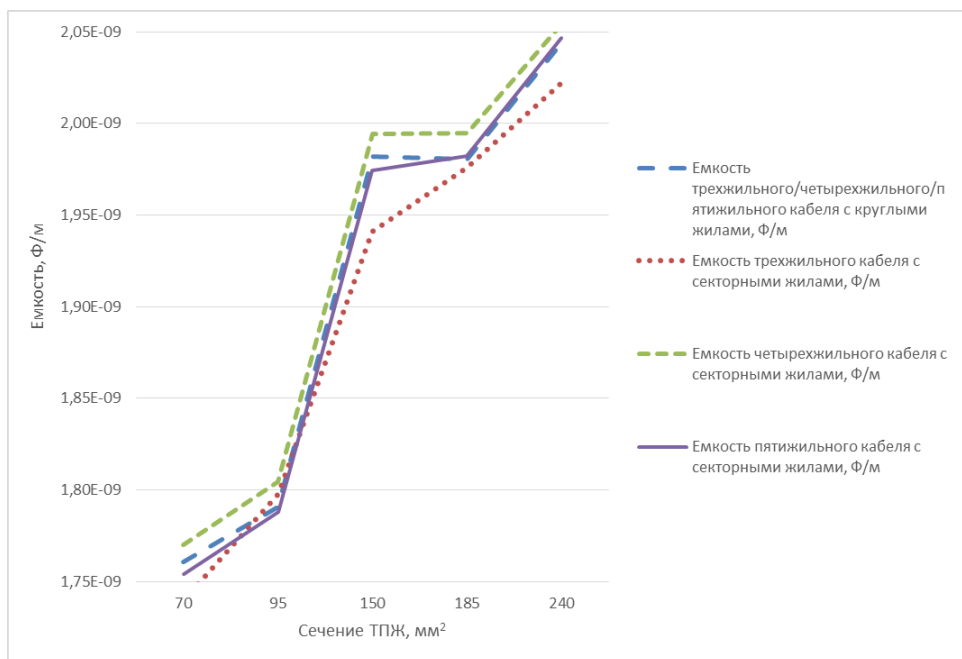


Рис. 13. Сравнительный график емкости трех-, четырех-, пятижильных кабелей ВВГ с круглыми и секторными ТПЖ

Fig. 13. Comparative graph of capacity of three-, four-, five-core VVG cables with round and sector-shaped conductive cores

### Заключение

В данной статье была предложена методика расчета индуктивности и электрической емкости ТПЖ кабелей на номинальное напряжение до 3 кВ. Данная методика сочетает в себе как математический, так и графический метод расчета требуемых параметров, что позволяет достичь оптимальную точность расчетов.

По графикам, приведенным на рис. 12, 13 можно сделать следующие выводы:

- 1) Процентное соотношение между электрической емкостью кабелей с круглыми и

секторными ТПЖ в среднем составило 0,11 %. Исходя из этого, при расчете электрической емкости кабелей с секторными жилами можно пренебречь определением эквивалентного диаметра секторной ТПЖ, а расчет емкости можно провести по формуле (29), как для кабеля с круглыми ТПЖ аналогичного сечения. При этом расчет упрощается, а его точность остается приемлемой.

2) Процентное соотношение между индуктивностью кабелей с круглыми и секторными ТПЖ в среднем составило 4,34 %. Это объясняется тем, что индуктивность зависит от среднего расстояния между центрами ТПЖ. На практике кабели с секторными ТПЖ имеют меньшие габариты по сравнению с кабелями с круглыми ТПЖ. Следовательно, средние расстояния между жилами будут также меньше. При уменьшении средних расстояний между центрами ТПЖ индуктивность увеличивается (по формуле (1)), что подтверждается результатами расчетов, приведенных в табл. 3.

#### Список источников:

1. Основы кабельной техники: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.М. Леонов, И.Б. Пешков, И.Б. Рязанов, С.Д. Холодный; под ред. И.Б. Пешкова. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 432 с.
2. ГОСТ 15845-80. Изделия кабельные. Термины и определения.
3. ГОСТ 31996-2012. Кабели силовые с пластмассовой изоляцией на номинальное напряжение 0,66; 1 и 3 кВ. Общие технические условия.
4. Расчет токов коротких замыканий в энергосистемах : учеб. пособие / С.А. Ерошенко [и др.]. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 104 с.
5. Каменский М.К., Холодный С.Д. Силовые кабели 1-10 кВ с пластмассовой изоляцией. Расчет активного и индуктивного сопротивлений // Новости электротехники. – 2004. – №4. – с. 14.
6. ГОСТ Р МЭК 60287-1-1-2022. Расчет номинальной токовой нагрузки. Часть 1-1. Методы расчета номинальной токовой нагрузки (100%-ный коэффициент нагрузки) и потерь. Общие положения.
7. ГОСТ 22483-2012. Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров.
8. Автоматизация процессов обеспечения информационной безопасности на основе разработки модели минимизации рисков конструкторско-технологического проекта / Т.В. Карлова, А.Ю. Бекмешов, А.Э. Тихомиров и др. // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2023. – №4. – С. 12-17.
9. Рыбаков А.В., Краснов А.А., Евдокимов С.А., Шурпо А.Н. Формирование цепочки проектирования с учетом нормативно-справочных ограничений // Вестник МГТУ «Станкин». – 2023. – № 2 (65). – С. 86-91.

#### Информация об авторах:

##### Коровин Максим Леонидович

аспирант Института конструкторско-технологической информатики Российской академии наук

#### References:

1. Leonov V.M., Peshkov I.B., Ryazanov I.B., Kholodny S.D., Peshkov I.B., editor. Fundamentals of Cable Engineering. Moscow: Academia; 2006.
2. State Standard 15845-80. Cable Products. Terms and Definitions; 1981.
3. State Standard 31996-2012. Power Cables With Plastic Insulation for Rated Voltage of 0.66; 1 and 3 kV. General Specifications; 2013.
4. Eroshenko S.A., et al. Calculation of Short-Circuit Currents in Power Systems. Yekaterinburg: Publishing House of Ural University; 2019.
5. Kamensky M.K., Kholodny S.D. Power Cables 1-10 kV With Plastic Insulation. Calculation of Active and Inductive Resistance. Electrical Engineering News. 2004;4:14.
6. State Standard R IEC 60287-1-1-2022. Calculation of the Current Rating. Part 1-1. Current Rating Equations (100% Load Factor) and Calculation of Losses. General Identical Standards; 2022.
7. State Standard 22483-2012. Conductors for Cables, Wires and Cords; 2014.
8. Karlova TV, Bekmeshov AYu, Tikhomirov AE, et al. Automating Information Security Processes by Developing a Risk Minimization Model for a Design and Technological Project. Automation and Modelling in Design and Management. 2023;4:12-17.
9. Rybakov A.V., Krasnov A.A., Evdokimov S.A., Shurpo A.N. Formation of the Design Chain Taking Into Account Regulatory and Reference Restrictions. Vestnik MSUT "Stankin". 2023;2(65):86-91.

#### Information about the authors:

##### Korovin Maxim Leonidovich

Postgraduate student of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences

**Сорока Дмитрий Олегович**  
аспирант Института конструкторско-  
технологической информатики Российской академии  
наук

**Soroka Dmitry Olegovich**  
Postgraduate student of the Institute for Design-  
Technological Informatics of the Russian Academy of  
Sciences

**Куликов Михаил Юрьевич**  
доктор технических наук, профессор Института  
конструкторско-технологической информатики  
Российской академии наук

**Kulikov Mikhail Yurievich**  
Doctor of Technical Sciences, Professor of the Institute  
for Design-Technological Informatics of the Russian  
Academy of Sciences

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.**  
**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**  
**The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 07.10.2024; одобрена после рецензирования 30.10.2024;  
принята к публикации 11.11.2024.**

**The article was submitted 07.10.2024; approved after reviewing 30.10.2024; accepted for  
publication 11.11.2024.**

**Рецензент** – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный  
технический университет.

**Reviewer** – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State  
Technical University.

---

---

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Брянский государственный технический университет»

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7

ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: (4832) 56-49-90. E-mail: aim-ru@mail.ru

*Вёрстка А.Г. Малаханова. Редактор Д.А. Петраченко.*

Сдано в набор 15.12.2024. Выход в свет 20.12.2024.

Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 10,7.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования

«Брянский государственный технический университет»

241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16

---

---

