

Вестник

**Липецкого государственного
технического университета
(Вестник ЛГТУ)**

16+

**№ 2(59)
2025**

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 2 (59) 2025.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Регистрационный номер средства массовой информации Эл № ФС77-87639.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи,

информационных технологий и массовых коммуникаций

(Роскомнадзор) 25.06.2024 г.

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета

(Вестник ЛГТУ)

№ 2 (59) 2025.

Научно-технический журнал

Регистрационный номер Эл № ФС77-87639 .

Главный редактор

д-р техн. наук, проф.

Шмырин Анатолий Михайлович

Зам. главного редактора

д-р техн. наук, доц.

Ризаева Юлия Николаевна

Редакционная коллегия:

**Информатика, вычислительная техника
и управление**

д-р техн. наук, проф. Погодаев А.К. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Сараев П.В. (Россия)

д-р физ.-мат. наук, проф. Пеньков В.Б. (Россия)

Машиностроение

д-р техн. наук, проф. Козлов А.М. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Мазур И.П. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Сосенушкин Е.Н.

(Россия)

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

Металлургия

д-р техн. наук, проф. Кнапински М. (Польша)

д-р техн. наук, проф. Коршиков В.Д. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Михайлов Е. (Болгария)

д-р техн. наук, проф. Найзабеков А.Б. (Казахстан)

Транспорт и логистика

д-р техн. наук, проф. Клявин В.Э. (Россия)

д-р техн. наук, проф. Ли Р.И. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ляпин С.А. (Россия)

д-р техн. наук, доц. Ризаева Ю.Н. (Россия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

Учредитель: © ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30. Адрес электронной почты редакции: vm@stu.lipetsk.ru

ВЕСТНИК ЛИПЕЦКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНИЧЕСКОГО	
УНИВЕРСИТЕТА (ВЕСТНИК ЛГТУ)	
СОДЕРЖАНИЕ	CONTENTS
ИНФОРМАТИКА,	
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА	COMPUTER SCIENCES, COMPUTER
И УПРАВЛЕНИЕ	ENGINEERING AND CONTROL

<i>СТР.</i>		
5	А.Р. Козлова, Р.Н. Белокопытов Проектирование захвата робота манипулятора	A.R. Kozlova, R.N. Belokopytov Designing a manipulator grip
10	И.А. Седых, Д.В. Сысоев Обзор ряда платформ для проектирования умного дома на основе нейронных сетей	I.A. Sedykh, D.V. Sysoev Review of several platforms for smart home design based on neural networks
19	Д.В. Барашкова, Р.Н. Белокопытов Проектирование электрохимической системы робота-манипулятора	D.V. Barashkova, R.N. Belokopytov Design of the manipulator electromechanical system
24	В.А. Семиряжко Прогнозирование безопасности движения пассажирских составов посредством Марковских цепей: теоретический и практический аспекты	V. A. Semiryazhko Forecasting passenger train safe operation through Markov chains: theoretical and practical aspects
32	Е.С. Дуванов, А.В. Пятых Сравнение open source локальных больших языковых моделей	E.S. Duvanov, A.V. Pyatih Comparison of open source local large language models
37	Р.В. Батищев, В.В. Блудов, Ю.А. Гаршина Анализ уязвимостей безопасности в популярных языках программирования	R.V. Batishchev, V.V. Bludov, Y.A. Garshina Analysis of security vulnerabilities in popular programming languages
43	Е.С. Дуванов, Д.А. Чуркин Сравнение DirectX, OpenGL, Vulkan, Metal	E.S. Duvanov, D.A. Churkin Comparison of DirectX, OpenGL, Vulkan, Metal
51	Е.С. Дуванов, Р.В. Батищев, М.Ю. Шишов Программная реализация матрицы Эйзенхауэра	E.S. Duvanov, R.V. Batishchev, M.Y. Shishov Software implementation of the Eisenhower matrix

	ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА	TRANSPORT AND LOGISTICS
59	А.В. Гринченко, Н.В. Бахтина, П.А. Сакс Имитационное моделирование процесса обслуживания пассажиров на автовокзале	A.V. Grinchenko, N.V. Bakhtina, P.A. Sachs Simulation modeling of the passenger service process at the bus station
	МЕТАЛЛУРГИЯ	METALLURGY
66	В.Н. Титов, И.В. Куприянова, Т.В. Кравченко Технологические аспекты выплавки ферромарганца в доменных печах	V.N. Titov, I.V. Kupriyanova, T.V. Kravchenko Technological aspects of ferromanganese smelting In blast furnaces
73	А.И. Шарапов, Д.Р. Пчельников Использование отечественных измерительных приборов для колпаковых печей отжига листового металла	A.I. Sharapov, D.R. Pchelnikov The use of russian measuring instruments for sheet metal bell furnace annealing
	МАШИНОСТРОЕНИЕ	MACHINE-BUILDING
78	И.А. Пугачев Топологическая оптимизация – опыт освоения и практика применения	I.A. Pugachev Topological optimization – experience of mastering and practical application
87	Т.В. Редичкина, В.В. Неверов, П.Н. Клевцов, С.В. Лебедев Определение оптимального материала для сварки изделий из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом	T.V. Redichkina, V.V. Neverov, P.N. Klevtsov, S.V. Lebedev Determination of the optimal material for welding products made of high-strength cast iron with spherical graphite
93	Д.А. Иванычев, Д.В. Ездакова, С.А. Пономарев Построение упругого поля для анизотропного тела в условиях несимметричной краевой задачи теории упругости	D.A. Ivanychev, D.V. Ezdakova, S.A. Ponomarev Mapping an elastic field for an anisotropic body under the conditions of an asymmetrical boundary problem of elasticity theory
100	К сведению авторов	
101	Пример оформления статьи для публикации в журнале	

DOI 10.53015/30343275_2025_2_5

УДК 621.865.8

А.Р. КОЗЛОВА, Р.Н. БЕЛОКОПЫТОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАХВАТА РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается процесс проектирования захвата робота-манипулятора, предназначенного для автоматизации перемещения катушек с медной проволокой в производственных условиях. В процессе работы манипулятор должен перемещать катушку от стола до стойки, при этом катушка переходит из вертикального положения в горизонтальное. Основная цель – разработка надежного и эффективного механизма для захвата, удержания и перемещения. В качестве ключевого элемента управления предлагается пневматическая система, сочетающая в себе высокую скорость реакции, энергоэффективность и способность генерировать значительные усилия для удержания грузов. Проектирование захвата включает расчеты массы катушки, действующий на плечо манипулятор и расчет сил на входе и выходе пневмоцилиндра.

Результаты расчетов показывают, что разработанный захват обеспечивает грузоподъемность до 30 кг.

Ключевые слова: захват, робот манипулятор, катушки с медной проволокой.

A.R. KOZLOVA, R.N. BELOKOPYTOV

DESIGNING A MANIPULATOR GRIP

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses the process of designing an industrial manipulator grip to automate the movement of coils with copper wire. During operation, the manipulator must move the coil from the table to the rack, with the coil changing its position from vertical to horizontal. The main purpose of the research was to develop a reliable and effective mechanism for gripping, holding and moving. A pneumatic system is proposed as a key control element combining high reaction speed, energy efficiency and the ability to generate significant forces to hold loads. The grip design included calculations of the coil mass acting on the shoulder of the manipulator and the calculation of forces at the inlet and outlet of the pneumatic cylinder. The calculation results show that the developed grip provides a load capacity of up to 30 kg.

Keywords: grip, manipulator, coils with copper wire.

ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является проектирование универсального

пневмозахвата для робота-манипулятора, представленного на рис. 1.

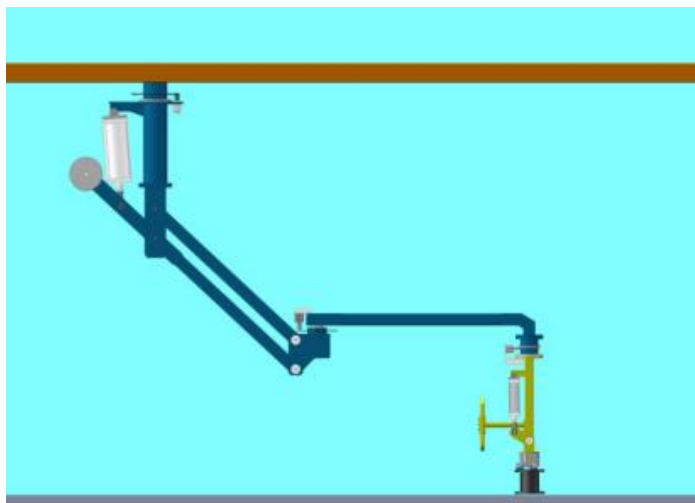


Рис.1. Робот-манипулятор для перемещения катушки с медной проволокой

Сейчас используются два вида захвата. В случае, когда нужно приступить к работе с катушками, перемещаемыми в другой плоскости, оператору необходимо

произвести замену пневматического захвата № 1 (рис. 2) на пневматический захват № 2 (рис. 3).

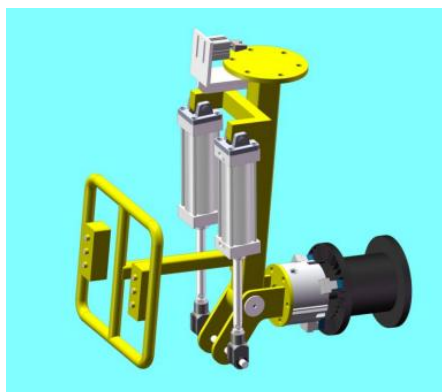


Рис. 2. Захват вертикальный для перемещения от стола

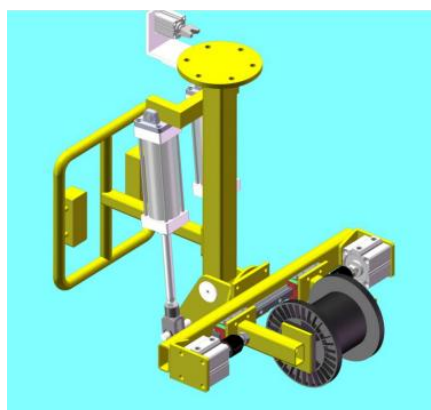


Рис. 3. Захват горизонтальный от стойки до стола

Для удобства и простоты взаимодействия в оборудовании используется высоко технологичная пневматическая система управления. При этом, для обеспечения оптимальной работы системы, в ней предусмотрено большое количество пневматических компонентов для регулирования давления и скорости потока воздуха под различные условия эксплуатации. Подключение оборудования от источника подачи воздуха осуществляется посредством использования пневмопровода диаметром 12 мм. Трубное соединение R1/2 диаметром 12 мм подключается к впускному отверстию

фильтра-регулятора. Далее через выпускное отверстие фильтра регулятора трубное соединение уже подключается к пневматической системе управления манипулятора [1].

Основные функции двухкомпонентного устройства: регулировка давления и фильтрация (рис. 4). В состав устройства входит манометр, который показывает давление сжатого воздуха, поступающего в систему. В корпусе устройства возможно временное присутствие водяного пара с примесями в виде конденсата из корпуса фильтра.



Рис. 4. Устройство регулировки давления и фильтрации

Регулировочную гайку двухкомпонентного устройства необходимо проворачивать в нужную сторону с целью регулировки давления сжатого воздуха, поступающего в систему. Примечание: максимальное значение не должно превышать показатель давления на входе. В двухкомпонентном устройстве предусмотрено два отверстия входа и выхода воздуха. В случае изменения направления потока воздуха, система не

сможет работать, а двухкомпонентное устройство может выйти из строя [2].

Необходимо визуально контролировать уровень водяного конденсата: в обеих камерах он не должен выходить за верхнюю границу (рис. 5). Воду следует своевременно сливать, когда ее уровень близок к верхней границе. Сливное отверстие открывают/закрывают, ослабляя/затягивая гайку, расположенную в нижней части устройства.

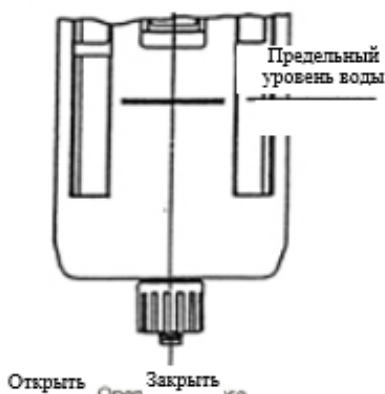


Рис. 5. Предельный уровень водяного конденсата

Для более стабильной работы, минимизации рисков повреждения катушек и травматизма персонала был предложен

универсальный пневмозахват раздвижного типа, рис. 6.



Рис. 6. Универсальный пневмозахват раздвижного типа

Расчет массы катушки, действующий на плечо манипулятора, для точного поворота захвата манипулятора на 90° [3].

К точке А отвесно приложен вес первого груза $G_1 = m_1 \cdot g$, к точке С под искомым

углом α к СВ приложен вес второго груза $G_2 = m_2 \cdot g$. Вес рычага приложен в точке В.

Замечая, что $M_B(G_p) = 0$ (так плечо силы G_p равно нулю), составим уравнение равновесия рычага:

$$G_1 \cdot BD - G_2 \cdot BE = 0.$$

Выразив плечи BD и BE через длины колен рычага, а вес G_1 и G_2 — через массы, получим уравнение

$$m_1 g \cdot BA \cdot \sin 30^\circ - m_2 g \cdot BC \cdot \sin \alpha = 0,$$

из которого

$$\sin \alpha = \frac{m_1 \cdot BA \cdot \sin 30^\circ}{m_2 \cdot BC} = \frac{50 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{10 \cdot 1} = 1.$$

Этому значению $\sin \alpha$ соответствует прямой угол. Следовательно,

$$\alpha = \frac{\pi}{2} \text{ рад} = 90^\circ.$$

Расчет сил на входе и выходе пневмоцилиндра.

Данные:

1. Рабочее давление $P = 0,55 \text{ МПа} = 0,55 \times 10^6 \text{ Па}$.
2. Диаметр цилиндра $d = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$.
3. Диаметр штока $d_{\text{штока}} = 10 \text{ мм} = 0,01 \text{ м}$.

При расчете силы на выходе и входе пневмоцилиндра используются две основные формулы:

1. Сила на входе (с полной площадью):

$$F_{\text{вход}} = P \cdot A_{\text{вход}},$$

где $A_{\text{вход}} = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$ — площадь отверстия цилиндра.

2. Сила на выходе (с учетом стержня):

$$F_{\text{выход}} = P \cdot A_{\text{выход}} = P \cdot (A_{\text{вход}} - A_{\text{штока}}),$$

где $A_{\text{выход}} = \pi \left(\frac{d_{\text{штока}}}{2}\right)^2$, что является площадью сечения штока.

Площадь входа $A_{\text{вход}} : A_{\text{вход}} = \pi \cdot (0,012)^2 = 0,000314 \text{ м}^2$.

Площадь штока $A_{\text{штока}} : A_{\text{штока}} = \pi \cdot (0,01)^2 = 0,000079 \text{ м}^2$.

Площадь выхода $A_{\text{выход}} : A_{\text{выход}} = A_{\text{вход}} - A_{\text{штока}} = 0,000314 - 0,000079 = 0,000235 \text{ м}^2$.

Сила на входе: $F_{\text{вход}} = P \cdot A_{\text{вход}} = 0,55 \cdot 10^6 \cdot 0,000314 = 172,8 \text{ Н}$.

Сила на выходе: $F_{\text{выход}} = P \cdot A_{\text{выход}} = 0,55 \cdot 10^6 \cdot 0,000235 = 129,25 \text{ Н}$.

ВЫВОД

В рамках данной статьи приведены результаты расчетов захвата робота-манипулятора с пневматической системой управления для автоматизации процесса перемещения катушек с медной

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ручкин, Л.В. Конструирование пневмоприводов робототехнических систем : учебное пособие / Л.В. Ручкин. – Красноярск : САА, 1996. – 72 с. – Текст : непосредственный.

2. Ручкин, Л.В. Проектировочный расчет пневмопривода : методические указания / Л.В. Ручкин. – Красноярск : САА. – 1996. – 68 с. – Текст : непосредственный.

3. Жиленков, А.А. Исследование возможностей механических захватных устройств / А.А. Жиленков, Т.А. Писарев. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. – 2023. – №7. – С 271–272.

4. Никикин, А.В. // Пневматические захватные устройства в технологической системе / А.В. Никикин, Б.А. Сентяков. – Текст : непосредственный // ИГТУ. – 2017. – № 7. – С. 604–612.

5. Стегачева, Е.В. Пневматические захватные устройства промышленных роботов для предметов с малой площадью

проволокой. Основной целью расчетов являлось обоснование конструктивных параметров захвата, обеспечивающих его надежность, безопасность и эффективность в условиях промышленной эксплуатации.

захватывания / Е.В. Стегачева, М.Г. Кристаль. – Текст : непосредственный // Известия ЮФУ. – № 5. – 2010. – 312 с.

6. Лесков, А.Г. Расчет сил контактного взаимодействия между деформируемым объектом и звеньями захватного устройства манипулятора / А.Г. Лесков, Е.В. Селиверстова. – Москва : МГТУ. – 2018. – С. 58–74. – Текст : непосредственный.

7. Патент № 2202466 Российская федерация, МПК В25J 15/06, В66С 1/02. Пневматический схват : № 2202466 : заяв. 21.03.2016 : опуб. 20.04.2016 / Кристаль М.Г., Стегачев Е.В., Широкий А.В. – заявитель и патентообладатель «ВолГТУ». – 7 с. – Текст : непосредственный.

8. Патент № 194506 Российская федерация, МПК F15B 11/068. Пневматический цилиндр одностороннего действия : № 194506 : заяв. 04.06.2019 : опуб. 12.12.2019 / Кистиченко А.А., Романенков А.Н., Грабов А.В. – заявитель и патентообладатель ООО «Камоцци Пневматика». – 8 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Козлова Анна Романовна

студент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

anna.f17@list.ru

Белокопытов Руслан Николаевич

старший преподаватель
кафедры автоматизированного электропривода и робототехники
Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Kozlova Anna Romanovna

Student of the Department of Automated Electrical Drive and Robotics.

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

anna.f17@list.ru

Belokopytov Ruslan Nikolayevich

Senior Lecturer of the Department of Automated Electrical Drive and Robotics.

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

rus.belokopytov@yandex.ru

И.А. СЕДЫХ, Д.В. СЫСОЕВ

ОБЗОР РЯДА ПЛАТФОРМ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УМНОГО ДОМА НА ОСНОВЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье представлен обзор современных платформ для проектирования умного дома на основе нейронных сетей. Рассмотрены ключевые аспекты интеграции искусственного интеллекта в системы умного дома, что позволяет повысить уровень автоматизации, адаптации и персонализации жилого пространства. Основное внимание уделено популярным экосистемам, таким как Яндекс Алиса, Google Home, Apple HomeKit и Xiaomi, которые предоставляют широкие возможности для управления устройствами умного дома через голосовые команды, мобильные приложения и автоматизированные сценарии. Рассмотрены преимущества и недостатки каждой из приведенных платформ, а также показан пример реализации умного дома на базе экосистемы Xiaomi.

Ключевые слова: умный дом, нейронные сети, искусственный интеллект, голосовое управление, экосистемы умного дома, Яндекс Алиса, Google Home, Apple HomeKit, Xiaomi.

I. A. SEDYKH, D.V. SYSOEV

REVIEW OF SEVERAL PLATFORMS FOR SMART HOME DESIGN BASED ON NEURAL NETWORKS

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article provides a review of modern platforms for smart home design based on neural networks. It examines the key aspects of integrating artificial intelligence into smart home systems, which enhances the level of automation, adaptation, and personalization of living spaces. Particular attention is given to such popular ecosystems as Yandex.Alice, Google Home, Apple HomeKit, and Xiaomi which offer extensive opportunities to operate smart home devices through voice commands, mobile applications, and automated scenarios. The advantages and disadvantages of each of the presented platforms are discussed, and an example of implementing a smart home based on the Xiaomi ecosystem is demonstrated.

Keywords: smart home, neural networks, artificial intelligence, voice control, smart home ecosystems, Yandex.Alice, Google Home, Apple HomeKit, Xiaomi.

ВВЕДЕНИЕ

Активное развитие нейронных сетей делает возможным их применение в различных сферах нашей повседневной жизни. Нейронные сети находят применение в системах безопасности, прогностических моделях и системах компьютерного зрения. Вокруг нас все чаще появляются устройства, такие как выключатели, чайники, роботы-пылесосы и другие домашние девайсы, которыми можно управлять через голосового

помощника. Всё больше людей стремятся сделать свои дома по-настоящему "умными", оснащая их различными системами и устройствами для повышения комфорта, безопасности и экономии ресурсов.

Например, робот-пылесос способен автоматически определять необходимое количество воды для конкретного типа напольного покрытия, а современные плиты могут предлагать рецепты благодаря встроенной системе рекомендаций.

Многие нейронные сети предоставляются открыто и, как правило, бесплатно такими технологическими гигантами, как Яндекс, Google, Microsoft, Xiaomi и многими другими. Алгоритмы нейронных сетей позволяют обрабатывать голосовые и текстовые команды, обучаться и адаптироваться под каждого пользователя индивидуально, повышая тем самым удобство и эффективность их использования.

1. ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В УМНОМ ДОМЕ

Устройства умного дома — это гаджеты и приборы, которые связаны в единую систему и управляются через мобильное приложение, голосовые команды или автоматизированные сценарии. Вот основные категории устройств, которые работают в умном доме.

Умное освещение:

- умные лампочки: управляются через приложение или голосовой помощник, могут менять яркость и цвет;
- светодиодные ленты: подходят для декоративного освещения, управляются аналогично лампочкам;
- выключатели и диммеры: позволяют управлять светом в доме удаленно или с помощью расписания.

Умные розетки и реле:

- умные розетки: включают и выключают бытовую технику по расписанию или по команде, а также могут измерять потребление энергии;
- реле и контроллеры: устанавливаются в электрическую сеть и позволяют удаленно управлять электроприборами.

Умные термостаты и климат-контроль:

- умные термостаты: регулируют температуру в доме, поддерживают комфортные условия и экономят энергию;
- кондиционеры и вентиляторы с Wi-Fi: подключены к системе умного дома и управляются через приложения;
- увлажнители и очистители воздуха: автоматизируют контроль качества воздуха.

Системы безопасности:

- умные камеры видеонаблюдения: дают возможность следить за домом в реальном времени и получать уведомления при обнаружении движения;
- датчики движения и открытия дверей/окон: оповещают о несанкционированном доступе;
- умные замки: позволяют удаленно открывать и закрывать двери, а также использовать временные доступы для гостей;
- сигнализации и сирены: срабатывают при обнаружении опасности (например, взлома или пожара).

Датчики для мониторинга:

- датчики дыма и газа: оповещают о возможных утечках газа или задымлении;
- датчики протечки воды: предупреждают о протечках в ванной или на кухне, что помогает предотвратить затопление;
- датчики температуры и влажности: обеспечивают мониторинг условий в помещении и позволяют реагировать на изменения.

Умные колонки и голосовые помощники:

- колонки с Siri, Google Assistant, Яндекс Алиса и другими голосовыми помощниками: позволяют управлять всеми устройствами умного дома с помощью голосовых команд. Они также могут ставить музыку, сообщать прогноз погоды и выполнять другие полезные действия.

Умная бытовая техника:

- пылесосы-роботы: убирают дом по расписанию, могут управляться удаленно;
- умные стиральные и посудомоечные машины: можно запустить или остановить через приложение;
- холодильники с подключением к интернету: позволяют следить за наличием продуктов и предлагать рецепты.

Мультимедиа и развлечения:

- умные телевизоры и медиа-плееры: поддерживают подключение к интернету и позволяют смотреть контент по запросу;
- саундбары и аудиосистемы: интегрируются с умным домом для проигрывания музыки или звука с разных устройств.

Системы управления шторами и жалюзи:

- умные шторы и жалюзи: могут автоматически открываться и закрываться в зависимости от времени дня, солнечного света или сценариев.

Системы автоматизации и сценарии:

- центральный хаб (шлюз): устройство, которое объединяет все гаджеты в единую систему и позволяет ими управлять с одного приложения;

- автоматизированные сценарии: например, "режим дома" или "режим сна", когда одновременно включаются или выключаются разные устройства по заданному сценарию.

Все эти устройства помогают сделать дом более комфортным, безопасным и энергоэффективным. Их можно

комбинировать и настраивать под собственные нужды, чтобы создавать уникальные сценарии для различных ситуаций.

2. ОПИСАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

2.1. НЕЙРОННАЯ СЕТЬ ЯНДЕКС АЛИСА

Самая популярная в России система умного дома – умный дом от Яндекса – позволяет объединять устройства различных производителей в единую экосистему. Управление возможно как с помощью голосовых команд через умные колонки "Станция", так и через мобильное приложение на смартфоне [1, 2].

Схема работы умного дома показана на рис. 1.

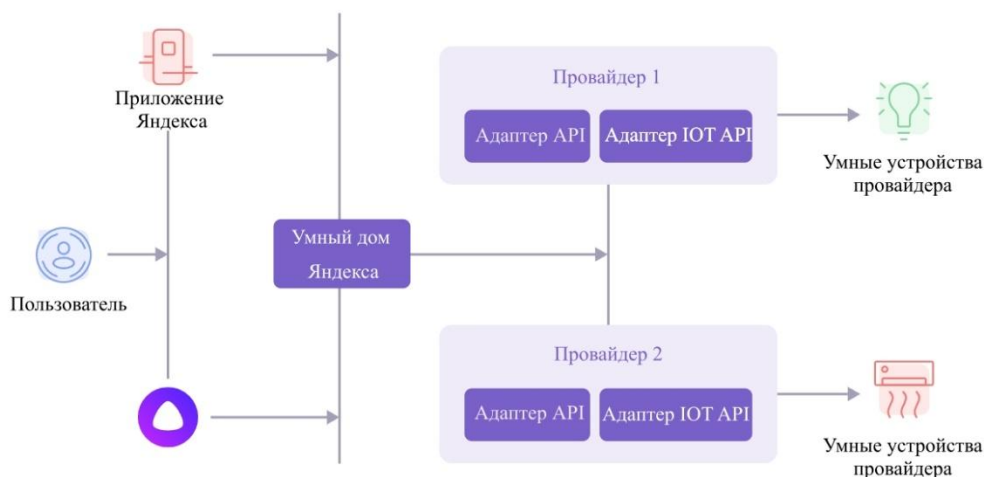


Рис. 1. Схема работы умного дома от Яндекса [1]

На схеме показаны следующие элементы:

Провайдер – компания, продающая устройства для умного дома и предоставляющая интерфейс для их управления (например, Phillips Hue, Legrand, Redmond).

Адаптер API – промежуточный API, который преобразует запросы из платформы умного дома в формат, понятный для API провайдера.

Провайдер IOT API – основной API для управления устройствами провайдера.

Умные устройства провайдера – устройства, которые можно управлять через их API.

Умный дом Яндекса – сервис Яндекса для управления умными устройствами через платформу умного дома.

Приложение Яндекс – приложение "Дом с Алисой" для управления умными устройствами.

Платформа умного дома помогает объединять устройства от различных производителей в одну экосистему, которая обладает дружелюбным голосовым интерфейсом. Производителю достаточно поддерживать открытый протокол управления устройствами на стороне своего сервиса и создать навык умного дома в Яндекс Диалогах [2, 4].

Преимущества нейронных сетей от Яндекс:

- включает минимально необходимый набор "умных" модулей для автоматизации;
- голосовой помощник Алиса обладает естественной речью и идеально понимает команды на русском языке;
- совместимость с бытовой техникой сторонних брендов позволяет интегрировать устройства от разных производителей в общую систему;
- простота настройки и управления, а также легкость подключения новых модулей.

Недостатки данной нейронной сети:

- работа системы невозможна без подключения к интернету, так как все

вычисления и обработка команд выполняются на серверах Яндекса;

- после завершения пробного периода требуется оплачивать подписку на сервисы;
- передача всех команд осуществляется через серверы Яндекса, а затем перенаправляется к производителю устройства, что может вызывать вопросы к конфиденциальности. Схема управления показана на рис. 2;
- отсутствие возможности автоматизации по расписанию: управление возможно только вручную, голосовыми командами или через приложение.

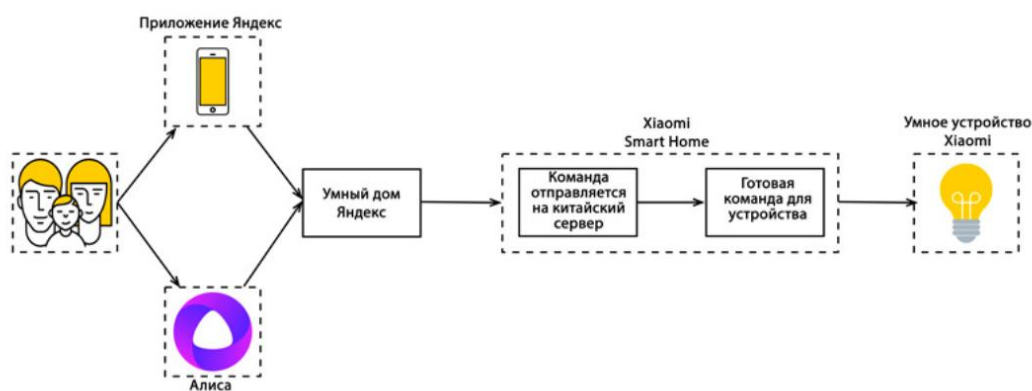


Рис. 2. Схема управления нейронной сети Яндекс [4]

2.2. УМНЫЙ ДОМ GOOGLE HOME

Google Home – это еще одна популярная экосистема умного дома, основанная на использовании искусственного интеллекта и облачных технологий. Одним из ключевых преимуществ является совместимость с большинством устройств, поддерживающих Google Assistant, – виртуального голосового помощника, созданного для упрощения взаимодействия с мобильными устройствами и элементами умного дома.

Экосистема Google Home функционирует за счет облачных технологий. Это означает, что даже если умная колонка передает команду умному термостату, сигнал сначала отправляется в интернет, обрабатывается на серверах Google, а затем возвращается обратно. Такой подход, с одной стороны, позволяет обеспечить высокую интеллектуальность системы, а с другой – вызывает некоторые недостатки: задержки в реакции на

команды и невозможность управления устройствами без подключения к интернету [5, 6].

Однако в последнее время Google активно работает над улучшением своей платформы. В рамках конференции для разработчиков представители компании объявили о планах обновления SDK, которое позволит обрабатывать команды и сценарии локально, в пределах домашней сети. Это значительно ускорит работу системы и повысит ее автономность [5].

Сегодня Google Assistant полностью поддерживает русский язык, однако пока управление устройствами экосистемы Google Home на русском языке недоступно. На данный момент возможна интеграция только с колонками Google и сервисами Android TV, что говорит о том, что адаптация платформы под потребности русскоязычных пользователей находится в процессе развития [6].

Преимущества нейронной сети от Google:

- Широкая совместимость с устройствами, поддерживающими Google Assistant.

- Не требуется платная подписка для использования системы.

- Поддержка различных мобильных устройств и платформ.

Недостатки данной нейронной сети:

- Задержка в обработке команд из-за необходимости отправки данных в облако.

- Отсутствие полноценного управления устройствами на русском языке.

- Сложность настройки и управления умными колонками.

- Ограниченная совместимость с некоторыми устройствами.

Система Google Home обладает большим потенциалом для создания умного дома, однако пока ее возможности ограничены, особенно для русскоязычных пользователей. Однако планы Google на локализацию и расширение функционала вселяют уверенность в будущем развитии платформы.

2.3. УМНЫЙ ДОМ APPLE HOMEKIT

Apple HomeKit — это универсальная программная платформа, разработанная Apple в 2014 году, которая позволяет пользователям управлять умными аксессуарами дома с использованием устройств на базе iOS, macOS, watchOS и tvOS. Управление возможно через приложение Дом и голосового помощника Siri, включая команды на русском языке. Платформа поддерживает интеграцию с Apple TV, HomePod и CarPlay, что расширяет возможности голосового управления [7].

Apple HomeKit упрощает взаимодействие с умным домом, устраняя необходимость использования нескольких приложений для разных устройств. Все управление сосредоточено в одной универсальной платформе. Пользователи могут создавать сценарии с несколькими условиями и действиями, что делает систему гибкой и удобной [8].

Управление возможно как локально, так и удаленно через интернет, при этом безопасность данных остается на высшем

уровне. Это достигается благодаря шифрованию всех операций и созданию уникальной пары ключей Ed25519 для каждого пользователя. Эти ключи используются для аутентификации связи между устройствами и синхронизируются через iCloud.

На российском рынке платформу поддерживает компания Rubetek, предлагая решения высокого качества по доступной цене [9].

Преимущества нейронной сети от Apple:

- Высокая безопасность данных. Благодаря шифрованию операций пользователь может быть уверен в конфиденциальности своей информации.

- Удобное управление. Возможность управления через устройства Apple (iPhone, iPad, Mac, Apple Watch, HomePod и другие). [8]

- Гибкость сценариев. Пользователи могут создавать сложные сценарии с различными условиями.

- Универсальность. Поддержка устройств от разных производителей, совместимых с HomeKit.

Недостатки данной нейронной сети:

- Высокая стоимость. Решения Apple традиционно дороже аналогов на рынке.

- Ограниченный выбор устройств. На российском рынке представлено небольшое количество аксессуаров, совместимых с HomeKit.

2.4. УМНЫЙ ДОМ XIAOMI

Система «Умный дом» Xiaomi — это высокотехнологичная и гибкая платформа, которая объединяет домашние устройства в единую сеть под управлением искусственного интеллекта. Она имеет модульную структуру, что позволяет пользователям подбирать необходимые элементы для конкретных задач. Благодаря этому экосистема Xiaomi отличается высокой адаптивностью и простотой настройки [10].

Особенности данной системы: [11]

1. Способы связи между устройствами:

- ZigBee: Энергоэффективный протокол, используемый для устройств, работающих от батареек. Для их интеграции в сеть требуется шлюз

управления (Xiaomi Multifunctional Gateway) [10].

- Wi-Fi: Устройства с питанием от электросети используют беспроводную передачу данных для подключения [10, 12].

- Bluetooth: Применяется для прямого подключения устройств с минимальными задержками [10, 12].

- Хаб как основа системы: Вся передача данных между модулями и выполнение пользовательских команд проходят через хаб (например, Xiaomi Multifunctional Gateway), который выступает центральным узлом управления всей экосистемой.

2. Автоматизация и сценарии:

- умный дом Xiaomi позволяет создавать сценарии для автоматизации задач, таких как включение освещения по движению или управление устройствами на основе времени суток [13].

3. Простота интеграции:

- экосистема Xiaomi поддерживает подключение устройств различных категорий, включая смарт-розетки, камеры, очистители воздуха, лампы и многое другое [14, 15].

Преимущества нейронной сети от Xiaomi:

- Доступная стоимость.
- Широкий выбор устройств.
- Гибкость в настройках благодаря модульной структуре.
- Совместимость с голосовыми помощниками (Google Assistant, Amazon Alexa) [15].

Недостатки данной нейронной сети:

- Некоторые устройства требуют наличия хаба для работы.
- Возможны задержки в передаче данных при использовании облачных технологий.

Система Xiaomi отлично подходит для создания функционального умного дома, сочетая в себе доступность, простоту и широкую совместимость.

3. ПРИМЕР УМНОГО ДОМА НА БАЗЕ XIAOMI

Умный дом Xiaomi — это гибкая экосистема, позволяющая объединить в единую сеть большое количество устройств, которыми можно управлять через приложение Mi Home. В данном

проекте будут использованы следующие устройства:

1. Умный кондиционер – Xiaomi Smartmi Air Conditioner A1 – 59 041 руб.

Функционал:

- Управление температурой и режимами работы через Mi Home.

- Поддержка голосового управления через Xiaomi AI или Google Assistant.

- Энергоэффективность класса A+++.

2. Умный чайник - Xiaomi Mi Smart Kettle Pro – 4 447 руб.

Функционал:

- Настройка температуры под разные задачи (40–90°C).

- Управление и настройка расписания через Mi Home.

- Встроенный экран для отображения текущей температуры.

3. Умные лампочки - Xiaomi Mi LED Smart Bulb – 910 руб.

Функционал:

- Регулировка яркости, цвета (RGB), и температуры света.

- Возможность создания сценариев освещения (например, «Утро», «Релакс»).

- Голосовое управление через Google Assistant или Amazon Alexa.

4. Умные розетки - Xiaomi Smart Plug – 1 645 руб.

Функционал:

- Включение/выключение бытовых приборов по расписанию.

- Мониторинг энергопотребления.

- Интеграция с другими устройствами через сценарии в Mi Home.

5. Умный телевизор - Xiaomi Mi TV 6 – 137 000 руб.

Функционал:

- Голосовое управление через встроенного ассистента.

- Поддержка Google Chromecast для передачи контента с телефона.

- Интеграция с другими устройствами умного дома (например, автоматическое включение света при включении телевизора).

Суммарно – 203 043 руб.

Управление:

Все устройства связываются через Wi-Fi, Bluetooth или протокол Zigbee

(в зависимости от модели).
Централизованное управление осуществляется через приложение Mi Home, которое

позволяет настроить сценарии и автоматизацию. Схема рассматриваемого примера умного дома показана на рис. 3.

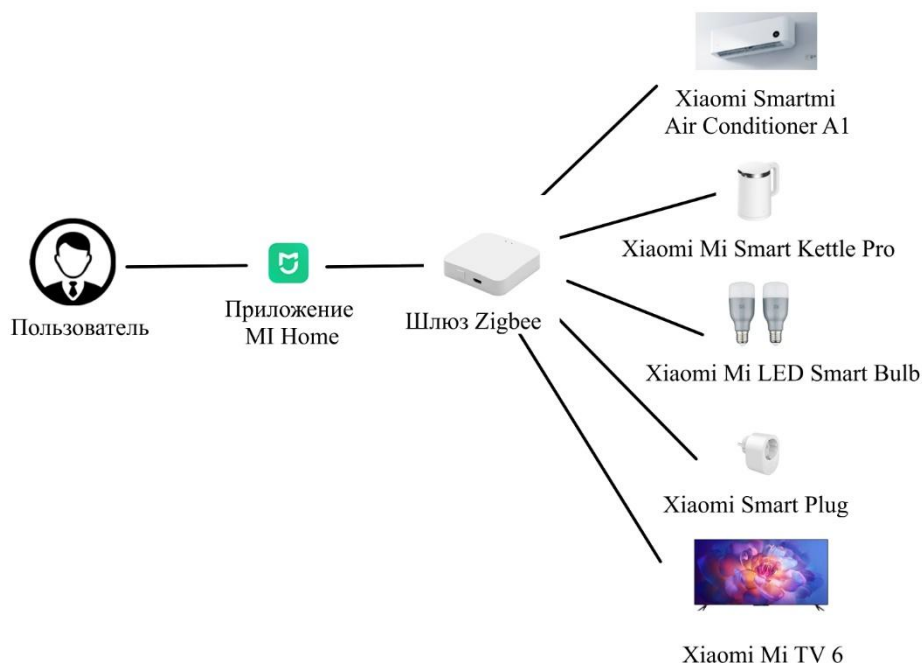


Рис. 3. Схема умного дома на базе Xiaomi

Шлюз управления:

Для оптимальной работы всех устройств рекомендуется использовать Xiaomi Smart Gateway:

Функционал шлюза:

- управление устройствами с поддержкой Zigbee;
- обеспечение централизованного подключения даже при отключении Wi-Fi;
- голосовое управление через связку с голосовым ассистентом;

Через Mi Home создаются сценарии, расписания и автоматизация. Например, можно настроить, чтобы кондиционер включался, когда температура в комнате поднимается выше 26 °C.

Голосовое управление:

Устройства Xiaomi поддерживают голосовое управление через Xiaomi AI, Google Assistant, или Amazon Alexa. Например, команда:

"Ok Google, включи кондиционер" приведет к активации устройства.

Синхронизация устройств:

Все устройства работают через единую сеть, что позволяет реализовать сложные сценарии, например:

«Если телевизор включен, затемни лампочки до 30 % яркости».

Мониторинг и уведомления:

Приложение уведомляет о выполнении задач, например: "Вода в чайнике нагрелась до 90 °C".

Преимущества умного дома Xiaomi:

1. Экосистема и интеграция:

Универсальность: Все устройства Xiaomi работают через приложение Mi Home, что позволяет объединить их в единую экосистему.

Совместимость: Поддержка сторонних сервисов, таких как Google Assistant, Amazon Alexa, и Apple HomeKit, делает управление более удобным.

Сценарии и автоматизация:

Возможность создавать сложные сценарии для автоматизации задач (например, освещение, отопление, управление мультимедиа).

2. Удобство управления:

Простое приложение: Интуитивно понятный интерфейс Mi Home подходит даже для начинающих пользователей.

Голосовое управление: Устройства поддерживают команды через голосовых ассистентов.

Удаленный доступ: Управление домом через смартфон из любой точки мира.

3. Цена:

Устройства Xiaomi обычно дешевле аналогов, таких как Philips Hue, Nest, или Ecobee, что делает их доступными для широкого круга пользователей.

4. Масштабируемость:

Постоянное добавление новых устройств в экосистему.

Возможность интеграции устройств с разными стандартами (Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth).

5. Энергоэффективность:

Устройства Xiaomi оснащены функциями энергосбережения, мониторинга потребления электричества и расписания работы.

Недостатки данного умного дома:

1. Зависимость от экосистемы:

Замкнутая экосистема: Xiaomi делает упор на использование Mi Home. При добавлении сторонних устройств могут возникнуть сложности с интеграцией.

Привязка к интернету: Некоторые функции требуют постоянного интернет-соединения.

2. Проблемы с конфиденциальностью:

Xiaomi собирает данные об использовании устройств, что может вызвать вопросы у пользователей, заботящихся о конфиденциальности.

3. Локализация:

Приложение Mi Home иногда имеет недостаточную поддержку русского языка.

Некоторые модели устройств предназначены для китайского рынка и требуют дополнительных настроек для работы за пределами Китая.

4. Ограниченный функционал без шлюза:

Устройства Zigbee требуют шлюза управления для полной функциональности.

В случае выхода шлюза из строя работа всей системы может быть нарушена.

5. Ограниченный гарантийный сервис:

На некоторых рынках сервисное обслуживание и ремонт устройств Xiaomi может быть затрудненным.

6. Завышенные ожидания:

Автоматизация требует тщательной настройки. Неправильно заданные сценарии могут вызывать сбои (например, кондиционер включается, когда в этом нет необходимости).

Вывод:

Умный дом Xiaomi — это идеальный вариант для пользователей, которые ищут доступное и функциональное решение для автоматизации дома. Однако перед выбором важно учитывать такие аспекты, как зависимость от экосистемы и конфиденциальность данных.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены ключевые аспекты проектирования умного дома на основе нейронных сетей, а также представлены популярные экосистемы, такие как Яндекс Алиса, Google Home, Apple HomeKit и Xiaomi. Основное внимание уделено интеграции искусственного интеллекта в системы умного дома, что позволяет повысить уровень автоматизации, адаптации и персонализации жилого пространства. В статье подробно описаны устройства, работающие в умном доме, включая умное освещение, климат-контроль, системы безопасности, умную бытовую технику и мультимедиа. Особое внимание уделено преимуществам и недостаткам каждой из рассмотренных платформ, а также приведен пример реализации умного дома на базе экосистемы Xiaomi.

Таким образом, в статье показано, что умный дом — это доступная и функциональная технология, которая может быть адаптирована под индивидуальные потребности пользователя. Дальнейшее развитие умных домов будет направлено на повышение автономности, расширение функционала и улучшение безопасности данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яндекс. Умный дом: документация для разработчиков. – Текст : электронный. – URL : <https://yandex.ru/dev/dialogs/smart-home/> (дата обращения: 10.12.2024). Яндекс.
2. Алиса: умный дом. – Текст : электронный. – URL: <https://alice.yandex.ru/smart-home> (дата обращения: 10.12.2024).
3. Яндекс (2025). Умный дом: официальная документация для интеграции. – Текст : электронный. – URL: <https://yandex.ru/dev/dialogs/smart-home/doc/ru/about> (дата обращения: 15.10.2024).
4. Яндекс Умный дом: руководство по использованию и настройке/ – Текст : электронный // Т-Ж.ру : технологический журнал. – URL: <https://t-j.ru/guide/yandex-smart-home/> (дата обращения: 15.10.2024).
5. Sprut.ai. Google умный дом: обзор экосистемы. – Текст : электронный. – URL: <https://sprut.ai/article/google-umnyy-dom> (дата обращения: 20.12.2024).
6. Локальный умный дом: руководство по созданию и настройке. – Текст : электронный. // Т-Ж.ру : технологический журнал. – URL: <https://t-j.ru/guide/local-smart-home/> (дата обращения: 25.12.2024).
7. Sprut.ai. HomeKit: что это такое — умный дом от Apple. – Текст : электронный. – URL: <https://sprut.ai/article/homekit-cto-eto-takoe-umnyy-dom-ot-apple?ysclid=m3olrhec77118021649> (дата обращения: 27.12.2024).
8. Что такое умный дом Apple HomeKit: зачем он вам нужен и нужен ли? // Stereo.ru. – Текст : электронный. – URL: <https://stereo.ru/p/rxv8w-cto-takoe-umnyy-dom-apple-homekit-zachem-on-vam-nuzhen-i-nuzhen-li> (дата обращения: 15.01.2025).
9. Rubetek. Компания Rubetek внедряет систему HomeKit. – Текст : электронный. – URL: <https://rubetek.com/news/products/kompaniya-rubetek-vnedryaet-sistemu-homekit/> (дата обращения: 18.01.2025).
10. XiaCom. Умный дом Xiaomi: что это такое и как работает. – Текст : электронный. – URL: <https://xiacom.ru/articles/umnyy-dom-xiaomi-cto-eto-takoe-i-kak-rabotaet/> (дата обращения: 18.01.2025).
11. Умный дом Xiaomi: все устройства, компоненты и функции // ProНаушники. – Текст : электронный. – URL: <https://pro-naushniki.ru/dlya-doma/umnyj-dom/umnyj-dom-xiaomi-vse-ustrojstva-komponenty-funktsii> (дата обращения: 20.01.2025).
12. Как сделать умный дом Xiaomi // VseSmart.ru : блог. – Текст : электронный. – URL: <https://vsessmart.ru/blog/kak-sdelat-umnyy-dom-xiaomi/> (дата обращения: 20.01.2025).
13. Как собрать умный дом от «Сяоми» // Т-Ж.ру : технологический журнал. – Текст : электронный. – URL: <https://t-j.ru/guide/yandex-smart-home/> (дата обращения: 21.01.2025).
14. Умный дом Xiaomi - официальный сайт // Xiaomi Corporation. – Текст : электронный. – URL: <https://www.mi.com/ru/smart-home/> (дата обращения: 22.01.2025).
15. Что входит в экосистему умного дома Xiaomi. – Текст : электронный // Клуб DNS: [блог]. – URL: <https://club.dns-shop.ru/blog/t-232-umnyii-dom/141141-cto-vhodit-v-ekosistemu-umnogo-doma-xiaomi/> (дата обращения: 22.01.2025).

Сведения об авторах

Седых Ирина Александровна

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры автоматизированных
систем управления,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Сысоев Денис Владимирович

студент кафедры автоматизированных
систем управления,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Information about authors

Sedykh Irina Aleksandrovna

Doctor of Technical Sciences, Associate
professor,

Professor of the Department of Automated
Control Systems,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Sysoev Denis Vladimirovich

Student of the Department of Automated
Control Systems,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/30343275_2025_2_19

УДК 621.865.8:681.513.7(045)=111

Д.В. БАРАШКОВА, Р.Н. БЕЛОКОПЫТОВ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РОБОТА-МАНИПУЛЯТОРА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье приводится процесс проектирования электромеханической системы шестиосевого промышленного робота-манипулятора для перемещения катушек с намотанным медным проводом. Робот устанавливается на подвижную платформу, которая передвигается по подвесному рельсовому пути. Рассматривается общая схема робота, а также его упрощенная кинематическая схема. Для приведения робота-манипулятора в движение предлагается использование серводвигателей переменного тока с встроенными энкодерами в сочетании с планетарными редукторами, что позволяет достичь необходимых крутящих моментов при высокой точности позиционирования. По результатам расчетов необходимых моментов двигателей в работе производится подбор подходящего по характеристикам оборудования.

Ключевые слова: промышленный робот, робот манипулятор, серводвигатель.

D.V. BARASHKOVA, R.N. BELOKOPYTOV

DESIGN OF THE MANIPULATOR ELECTROMECHANICAL SYSTEM

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article describes the process of designing the electromechanical system of a six-axis industrial robotic manipulator to move coils with a wound copper wire. The robot is mounted on a movable platform that moves along an overhead rail track. The general circuit of the robot as well as its simplified kinematics are considered. To set the robot manipulator in motion, it is proposed to use AC servo motors with integrated encoders together with planetary gearboxes,

which will make it possible to achieve the necessary torques at high positioning accuracy. According to the results of calculating the necessary torques of the motors, equipment is selected that meets the above characteristics.

Keywords: industrial robot, manipulator, servo motor.

ВВЕДЕНИЕ

В общем случае электромеханическая система робота-манипулятора состоит из механических звеньев, передач и электродвигателей, которые в совокупности обеспечивают передвижение рабочего органа в пространстве [1].

На рис. 1 представлена общая схема проектируемого робота манипулятора [2]. Данный манипулятор имеет шесть степеней свободы и устанавливается на подвижную платформу, предназначенную для перемещения робота по подвесному рельсовому пути в прямом и обратном направлениях [3].

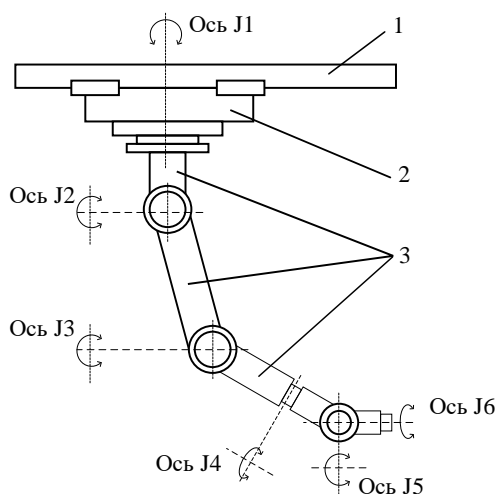


Рис. 1. Общая схема шестиосевого робота манипулятора
1 – подвесной рельсовый путь, 2 – электрическая тележка,
3 – сочленения робота-манипулятора

Рассматриваемый шестиосевой робот-манипулятор также можно представить в виде открытой кинематической цепи с шестью кинематическими звеньями,

образующими простые кинематические пары (рис. 2) [4].

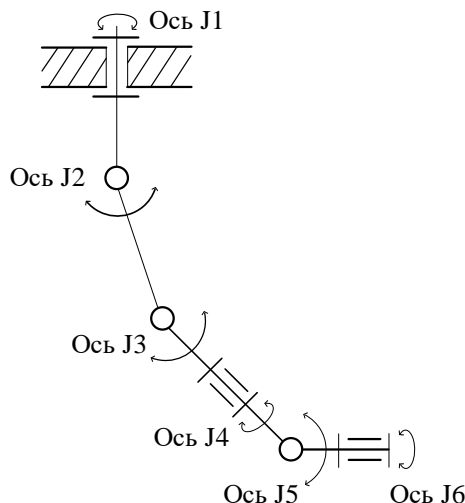


Рис. 2. Кинематическая схема шестиосевого робота-манипулятора

Рабочая задача проектируемого робота заключается в подъеме и перемещении катушек с намотанным медным проводом в пределах рабочей области [5]. Максимальный вес катушки составляет 27 кг. Силу тяжести, действующую на катушку, можно рассчитать как

$$F = m \cdot g = 27 \cdot 9,81 = 267 \text{ Н.}$$

Для расчета необходимых крутящих моментов двигателей робота-манипулятора нагрузка на звено принимается максимальной, то есть сила тяжести действует на звено перпендикулярно [6]. Примем длины звеньев манипулятора 2,5, 1 и 0,5 м – на рис. 1 и 2 от J2 до J3, от J3 до J5 и от J5 до J6 соответственно [7]. Тогда необходимые моменты приводов будут равны

$$M_1 = F \cdot r \cdot \sin 90^\circ = 267 \cdot 2,5 \cdot 1 = 667 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = F \cdot r \cdot \sin 90^\circ = 267 \cdot 1 \cdot 1 = 267 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = F \cdot r \cdot \sin 90^\circ = 267 \cdot 0,5 \cdot 1 = 133,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где M_1 – для оси J2, M_2 – для оси J3, M_3 – для оси J5.

При подборе двигателей, соответствующих рассчитанным параметрам, рассматривались преимущественно серводвигатели переменного тока [8][9]. Двигатели данного типа позволяют корректировать положение вала в режиме реального времени благодаря отрицательной обратной связи, что является большим преимуществом в процессе позиционирования катушки с медным проводом [10].

Для осуществления движения сочленения робота, находящегося ближе всего к рабочему органу (J5 и J6), может быть установлен серводвигатель переменного тока ЕСМА-С10910SS номинальной мощностью 1 кВт (рис. 3) [11]. Данный двигатель может использоваться в сочетании с планетарным редуктором 100AF-20P1S-750T3, который имеет передаточное отношение 1:20 и крутящий момент на выходном валу 150 Н·м (рис. 4) [12].



Рис. 3. Серводвигатель переменного тока ЕСМА-С10910SS

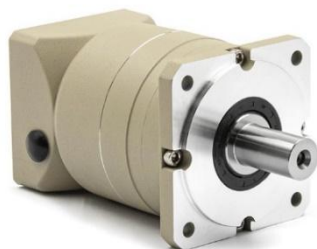


Рис. 4. Планетарный редуктор 100AF-20P1S-750T3

В удаленных от рабочего органа сочленениях (J1, J2, J3 и J4) могут быть использованы серводвигатели

переменного тока ЕСМА-LA1830SS номинальной мощностью 3 кВт (рис. 5) [13]. Данные двигатели могут

использоваться с планетарными редукторами AF180-5-S2-P2 (в основании робота) и DH-100-5-S2-P2 (между основанием и рабочим органом) с

крутящими моментами выходных валов 750 Н·м и 240/480 Н·м соответственно (рис. 6 и 7) [14].



Рис. 5. Серводвигатель переменного тока ECMA-LA1830SS



Рис. 6. Планетарный редуктор AF180-5-S2-P2



Рис. 7. Планетарный редуктор DH-100-5-S2-P2

Данные серводвигатели также оснащены встроенными абсолютными и инкрементными энкодерами, что упрощает процесс контроля положения вала [15].

ВЫВОД

В процессе работы над статьей были разработаны общая и кинематическая схемы промышленного шестиосевого робота-манипулятора для перемещения катушек с медным проводом. Были рассчитаны необходимые крутящие моменты для двигателей робота, а также произведен подбор оборудования на основании проведенных расчетов для создания электромеханической системы промышленного робота.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Юревич, Е.И.** Основы робототехники: учебное пособие / Е.И. Юревич. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 302 с. – Текст : непосредственный.
2. Основы робототехники: учебное пособие / Е.Е. Ступина, А.А. Ступин, Д.Ю. Чупин, Р.В. Каменев. – Новосибирск : Агентство «Сибпринт», 2019. – 160 с. – Текст : непосредственный.
3. **Волков, А.Н.** Проектирование робототехнических систем : учебное пособие / А.Н. Волков, А.Н. Тимофеев. – Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического университета, 2012. – 75 с. – Текст : непосредственный.
4. **Григорьева, Г.В.** Механика. Теория механизмов и машин : учебное пособие / Г.В. Григорьева, И.М. Надырова. – Новосибирск : СГГА, 2007. – 201 с. – Текст : непосредственный.
5. **Воробьев, Е.И.** Проектирование промышленных роботов: учебное пособие / Е.И. Воробьев, Э.И. Шехвиц. – Москва : Машиностроение, 1993. – 144 с. – Текст : непосредственный.
6. **Хомченко, В.Г.** Робототехнические системы: учебное пособие / В.Г. Хомченко. – Омск : ОмГТУ, 2016. – 195 с. – Текст : непосредственный.
7. **Бурдаков, С.Ф.** Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов: учебное пособие / С.Ф. Бурдаков, В.А. Дьяченко, А.Н. Тимофеев. – Москва : Высшая школа, 1986. – 264 с. – Текст : непосредственный.
8. **Кабдин, Н.Е.** Электропривод: учебник / Н.Е. Кабдин, В.Ф. Сторчевой. – Москва : МЭСХ, 2021. – 286 с. – Текст : непосредственный.
9. **Подураев, Ю.В.** Мехатроника: основы, методы, применение: учебное пособие. – 2-е изд., стер / Ю.В. Подураев. – Москва : Машиностроение, 2007. – 256 с. – Текст : непосредственный.
10. **Евсиков, А.А.** Автоматизированный электропривод с частотным управлением: учебное пособие / А.А. Евсиков, В.А. Коковин, А.П. Леонов. – Дубна : Государственный университет «Дубна», 2020. – 121 с. – Текст : непосредственный.
11. ECMA-C10910SS Серводвигатель переменного тока. – Текст : электронный. – URL : <https://delta-kip.ru/catalog/servoprivody/asd-a2-vysokoproizvoditelnyy-servoprivod-peremennogo-toka/ecma-c10910ss-servodvigatel-peremennogo-toka/?ysclid=m8jzwzeqm8486202858> (дата обращения: 10.03.2025).
12. Планетарные редукторы высокоточные AF/AL. – Текст : электронный. – URL : <https://www.predictorllc.ru/catalog/reduktory/planetarnye-reduktory-vysokotochnye/af-al/> (дата обращения: 10.03.2025).
13. ECMA-LA1830SS Серводвигатель переменного тока. – Текст : электронный. – URL : <https://delta-kip.ru/catalog/servoprivody/asd-a2-vysokoproizvoditelnyy-servoprivod-peremennogo-toka/ecma-la1830ss-servodvigatel-peremennogo-toka/?ysclid=m8k0122anm772501154> (дата обращения: 11.03.2025).
14. Планетарный редуктор DH-100-5-S2-P2. – Текст : электронный. – URL : <https://cnc-tehnologi.ru/planetarnye-reduktory/planetarnyj-reduktor-dh100-11-5-s2-p2-5-1> (дата обращения: 11.03.2025).
15. **Астапов, В.Н.** Расчет и выбор исполнительных электроприводов промышленных роботов: учебное пособие / В.Н. Астапов. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет. – 2005. – 47 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Барашкова Дарья Владимировна

студент кафедры автоматизированного электропривода и робототехники, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

boris12cnac@gmail.com

Белокопытов Руслан Николаевич

старший преподаватель

кафедры автоматизированного

электропривода и робототехники ,

Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

rus.belocopytov@yandex.ru

Information about the authors:

Barashkova Daria Vladimirovna

Student at the Department of Automated Electric Drive and Robotics, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

boris12cnac@gmail.com

Belokopytov Ruslan Nikolayevich

Senior Lecturer of the Department of

Automated Electrical Drive and Robotics.

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

rus.belocopytov@yandex.ru

DOI 10.53015/30343275_2025_2_24

УДК 519.216:656

В.А. СЕМИРЯЖКО

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПАССАЖИРСКИХ СОСТАВОВ ПОСРЕДСТВОМ МАРКОВСКИХ ЦЕПЕЙ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье представлен основной теоретический материал по теории цепей Маркова. Указаны понятия – шаги процесса, условные, переходные вероятности, стохастическая матрица. Представлена рекуррентная формула. Показано практическое применение теории «Цепи Маркова» на технической системе – пассажирском составе. Описаны состояния системы, рассчитаны переходные вероятности, и на их основе составлена стохастическая матрица. Показано вычисление безусловных вероятностей состояний системы на всех шагах процесса.

Ключевые слова: рекуррентная формула, стохастическая матрица, безусловные вероятности, шаги процесса.

V.A. SEMIRYAZHKO

FORECASTING PASSENGER TRAIN SAFE OPERATION THROUGH MARKOV CHAINS: THEORETICAL AND PRACTICAL ASPECTS

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article presents the basic theoretical material on the theory of Markov chains. Its concepts are indicated – the steps of the process, conditional and transitional probabilities, a stochastic matrix. A recurrent formula is given. The practical application of the Markov chain theory in the technical system – passenger train – is shown. The states of the system are described,

transitional probabilities are calculated and a stochastic matrix is created on their basis. The calculation of all unconditional probabilities of the system states at all steps is shown.

Keywords: recurrent formula, stochastic matrix, unconditional probabilities, steps of the process.

ВВЕДЕНИЕ

Марковские цепи рассматривают как случайные процессы с дискретными состояниями и дискретным временем. Данные случайные процессы применяют для исследования системы с точки зрения отыскания вероятностей пребывания во всех её состояниях. Данные вероятности называют безусловными вероятностями.

Каждая система любого вида имеет определённые состояния. Их количество конечно. Нет строго подхода к их определению, содержанию. Они предварительно, в начале исследования, формулируются, исходя из функций системы, её целеобразования. Как правило, к таковым состояниям относят: s_1 – система готова к работе, исправна; s_2 – обнаружены небольшие поломки; s_3 – профилактический осмотр и другие.

Количество состояний можно увеличить. Система случайным образом «перескакивает» из одного состояния в другое, она «блуждает» хаотично по своим состояниям. Предварительно невозможно «предсказать», в какое из своих состояний она попадёт. Напротив, нужно учесть все переходы системы из одного состояния во все остальные состояния. Цепи Маркова позволяют достаточно полно представить картину поведения данной системы за нужный промежуток времени в будущем, с точки зрения определения вероятностей пребывания во всех её состояниях. Последнее означает, что возможно прогнозирование поведения системы в

будущем через настоящее, при этом прошлое системы в цепях Маркова мы не учитываем.

ТЕОРИЯ И РАСЧЁТЫ

Обратимся к терминологии марковских цепей. Первоначально при исследовании системы обозначают её значимые состояния. $s_1, s_2, \dots, s_i, \dots, s_n$. Каждому состоянию соответствует безусловная вероятность p_i , где $i=1,2,\dots,n$. Эти неизвестные параметры и следует найти. Следующий этап – выбирают промежуток времени T , в течение которого будет функционировать данная система. Его разбивают на равные промежутки времени t_i , то есть на шаги процесса, при этом выполняется равенство

$$\sum_{i=1}^k t_i = T.$$

Чем больше количество шагов процесса, тем более точной будет картина поведения «будущего» исследуемой системы. Очередной этап состоит в отыскании всех безусловных вероятностей p_{ij} , где $i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,n$. Для этого процесса следует обратиться к базе данных данной системы, в которой указаны средние сроки появления дефектов, отклонений, поломок системы, например, во время следования пассажирского состава. Процесс всех переходов системы из одного состояния в другие состояния можно наглядно увидеть с помощью графа. Например:

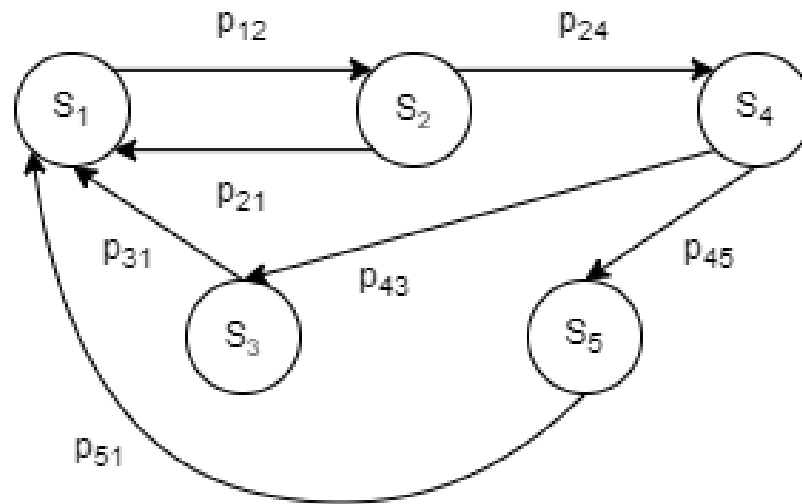


Рис.1. Граф технической системы

Понятие «размеченный граф» соотносится с понятием переходной вероятности p_{ij} , ($i=1,2,\dots, n$; $j=1,2,\dots,n$), в котором каждой p_{ij} присвоено числовое значение. Данная вероятность есть условная вероятность перехода системы из состояния i в состояние j . При этом первый индекс указывает на номер

предыдущего состояния, а второй индекс на номер следующего состояния, куда непременно перейдет система.

На основе всех переходных вероятностей составляют стохастическую матрицу. Если она постоянна на всех шагах исследования, то мы обращаемся к однородным цепям Маркова. Она имеет вид:

$$\|p_{ij}\| = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & p_{1j} & \dots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & p_{2j} & \dots & p_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{i1} & p_{i2} & \dots & p_{ij} & \dots & p_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{n1} & p_{n2} & \dots & p_{nj} & \dots & p_{nn} \end{vmatrix}.$$

Стохастическая матрица однородной цепи Маркова обладает рядом свойств:

- в каждой строке сумма её элементов равна единице;
- элементы каждого столбца указывают на вероятности всех переходов системы за один шаг из других состояний именно в это состояние;

:

- на главной диагонали стоят вероятности перехода состояния «в себя».

Наконец, используют рекуррентную формулу, которая позволяет вычислить все безусловные вероятности пребывания системы во всех её состояниях на всех шагах исследования

$$p_j(k) = \sum_{i=1}^n p_{ij} p_i(k-1) (j = 1, 2, \dots, n).$$

Таким образом, прогнозирование поведения данной системы можно строить на основе сравнения результатов безусловных вероятностей на каждом шаге исследования всех состояний данной системы. Окончательные результаты для

безусловных вероятностей пребывания системы во всех её состояниях на последнем шаге позволяют либо сделать вывод об удовлетворительном состоянии системы в конечном пункте её пребывания, либо принять меры по

ликвидации причин неудовлетворительного состояния.

Пассажирский состав есть техническая система, в которой протекают случайные процессы. Им соответствуют дискретное время и дискретные состояния, следовательно, можно использовать теорию цепей Маркова, изложенную выше.

Продвижение пассажирского состава находится под контролем соответствующих железнодорожных служб. Происходит движение по факту: выполнение временных рамок по прибытию в назначенный пункт, соблюдение времени стоянки, отправление состава. Прогнозирование пребывания данного поезда в определённых состояниях в их компетенции не входит. Важно знать прогноз поведения данной системы с точки зрения вероятностных характеристик пребывания в состоянии, например, необходимости ремонта во время движения пассажирского состава, профилактического ремонта и т.д. Для этих целей предназначены запланированные остановки, на которых стоянка состава может достигать до одного часа и больше.

Изначально отметим, что прогнозирование безопасности движения пассажирских составов целесообразно

проводить для поездов дальнего следования, время в пути которых составляет двое и более суток.

Рассмотрим, например, пассажирский состав Москва – Новосибирск, который находится в пути 1 день 23 час 30 мин. (почти 48 часов). Каждый шаг процесса «привязан» к остановкам поезда, где стоянка длится от 12 до 35 минут. Исходя из данного факта, введём 6 шагов, приблизительно по 8 часов каждый. Фактически длина каждого шага, то есть время между значимыми стоянками поезда, колеблется от 6 до 9 часов, но в среднем это около 8 часов. Последнее и определяет «длину шага» и их количество на всём маршруте.

Заметим также, что стоянки поезда между указанными остановками составляют от одной до трёх минут. В течение этого времени невозможно производить какие-либо действия по устранению поломок любого вида.

В табл. 1 указаны значимые остановки пассажирского состава с позиций длительности времени стоянок, удовлетворяющих шагам процесса (в среднем через восемь часов).

Таблица 1

Расписание поезда Москва – Новосибирск

Станция	Прибытие	Стоянка	Отправление	Время в пути
Москва			16.20	
Нижний Новгород	22.34	12 м	22.46	6 ч 14 м
Киров	05.15	20 м	05.35	12 ч 55 м
Пермь - 2	12.57	20 м	13.17	20 ч 37 м
Тюмень	00.22	20 м	00.42	1 д 8 ч 2 м
Омск	07.47	34 м	08.21	1 д 15 ч 27 м
Новосибирск	15.50	Конечная		1 д 23 ч 30 м

Содержательно состояния данной системы можно, например, представить так:

S_1 – система готова к работе, отклонений нет;

S_2 – появились незначительные отклонения, поломки;

S_3 – требуется профилактический осмотр: устранить поломки;

S_4 – ремонт, устранить, по возможности, основные недостатки;

S_5 – основные отклонения, возможно, устранены; либо некоторые элементы системы подлежат списанию.

Устранение отклонений, замену определённых элементов системы можно проводить только на остановках, где стоянки продолжительны по времени (они указаны в таблице).

Рассчитаем все переходные вероятности p_{ij} . В начальный момент система находится в состоянии s_1 (исправно). Найдем безусловные вероятности всех состояний технической системы для шести шагов ($k = 1, 2, \dots, 6$). Обратимся к классической формуле отыскания вероятностей:

$$p = \frac{m}{n},$$

где n – количество часов между крупными остановками по расписанию, m – время обнаружения дефектов, поломок, как правило, в определённый час.

Основанием для отыскания переходных вероятностей служат наблюдения, количественные статистические данные: небольшие поломки обнаруживают себя в конце первого дня движения состава, то есть спустя 24 часа (три шага), тогда как крупные через 48 часов (шесть шагов). Проведём вычисления, опираясь на данные факты:

$p_{12} = \frac{1}{24} \approx 0,042$ – небольшие поломки, но не обнаружены явно;

$p_{13} = 0$ – ремонт в начале пути, чаще всего, не осуществляется;

$p_{14} = \frac{1}{24} \approx 0,042$ – на длительных остановках ремонт требуется;

$p_{15} = 0$ – состав проверен, замена исключена;

$p_{11} = 1 - (0,042 + 0 + 0,042 + 0) = 0,916$; состояние готовности к поездке;

$p_{21} = 0$ – явно не обнаружены поломки;

$p_{23} = \frac{5}{8} \approx 0,625$ – небольшие поломки на остановках;

$p_{24} = 0$ – существенных поломок не обнаружено;

$p_{25} = \frac{1}{48} \approx 0,021$; поломка приводит к списанию;

$p_{22} = 1 - 0,646 = 0,354$; система работает с поломками;

$p_{31} = \frac{14}{16} \approx 0,875$ – ремонт на мелких остановках; поломки устранены.

$p_{32} = 0$; $p_{34} = 0$; $p_{35} = 0$ – ясно из смысла состояний;

$p_{33} = 1 - (0,063 + 0 + 0 + 0) = 0,937$ – система не вышла из этого состояния;

$p_{41} = \frac{8}{16} \approx 0,5$ – система может перейти в состояние готовности к поездке;

$p_{42} = 0$ – осуществляется ремонт;

$p_{43} = \frac{2}{16} \approx 0,125$ – осуществляют добавочно ремонт;

$p_{45} = \frac{1}{48} \approx 0,021$ – осуществляется ремонт, но возможно списание;

$p_{44} = 1 - (0,5 + 0,125 + 0,021) = 0,354$ – ремонт продолжить;

$p_{51} = \frac{1}{48} \approx 0,021$ – поломки в целом устранены; система готова к работе;

$p_{52} = 0$ – ремонт на мелких остановках;

$p_{53} = 0$ – ясно из смысла состояний; $p_{54} = 0$ – ясно из смысла состояний;

$p_{55} = 1 - 0,021 = 0,979$ – система не вышла из этого состояния.

Составим стохастическую матрицу:

$$\|p_{ij}\| = \begin{vmatrix} 0,916 & 0,042 & 0 & 0,042 & 0 \\ 0 & 0,354 & 0,625 & 0 & 0,021 \\ 0,875 & 0 & 0,125 & 0 & 0 \\ 0,65 & 0 & 0,125 & 0,204 & 0,021 \\ 0,021 & 0 & 0 & 0 & 0,979 \end{vmatrix}.$$

На основе рекуррентной формулы и стохастической матрицы вычислим безусловные вероятности каждого состояния на шести шагах. Безусловные

вероятности каждого состояния на нулевом шаге принимают вид:

$$p_1 = 1, p_2 = p_3 = \dots = p_n = 0.$$

Найдем безусловные вероятности всех пяти состояний на первом шаге ($k = 1$):

$$\begin{aligned}
p_1(1) &= 1 * 0,916 + 0 * 0 + 0 + 0 + 0 = 0,916; \\
p_2(1) &= 1 * 0,042 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,042; \\
p_3(1) &= 1 * 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0; \\
p_4(1) &= 1 * 0,042 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0,042; \\
p_5(1) &= 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 0.
\end{aligned}$$

Применим рекуррентную формулу и найдем безусловные вероятности состояний на втором шаге ($k = 2$):

$$\begin{aligned}
p_1(2) &= 0,916 * 0,916 + 0 + 0 + 0,042 * 0,042 + 0 = 0,766 + 0,041 = 0,8408; \\
p_2(2) &= 0,916 * 0,042 + 0,042 * 0,354 + 0 = 0,0534; \\
p_3(2) &= 0 + 0,042 * 0,625 + 0 + 0,042 * 0,204 + 0 = 0,0349; \\
p_4(2) &= 0,916 * 0,042 + 0 + 0 + 0,042 * 0,204 + 0 = 0,0471; \\
p_5(2) &= 0 + 0,042 * 0,021 + 0,042 * 0,021 + 0 = 0,002.
\end{aligned}$$

Аналогичные вычисления проводят на всех остальных шагах ($k = 3, 4, 5$).

Найдем безусловные вероятности состояний на последнем шестом шаге ($k = 6$):

$$\begin{aligned}
p_1(6) &= 0,8276 * 0,916 + 0,0453 * 0,875 + 0,0438 * 0,65 + 0,021 * 0,007 = 0,8263 \\
p_2(6) &= 0,8276 * 0,042 + 0,054 * 0,354 + 0,0473 * 0 + 0,0453 * 0 + 0,0438 * 0 = 0,0539; \\
p_3(6) &= 0,8276 * 0 + 0,054 * 0,625 + 0,0453 * 0,125 + 0,0438 * 0,125 = 0,045; \\
p_4(6) &= 0,8276 * 0,042 + 0,054 * 0 + 0,0453 * 0 + 0,0438 * 0,204 = 0,0437; \\
p_5(6) &= 0,8276 * 0 + 0,054 * 0,021 + 0,0453 * 0 + 0,0438 * 0,021 + 0,007 * 0,979 = 0,009.
\end{aligned}$$

Таблица 2

Результаты безусловных вероятностей для состояний системы

Безусловные вероятности системы для $k = 6$ (шагов)					
$p_1^{(k)}, p_2^{(k)}, \dots, p_5^{(k)}$ - вероятности на каждом шаге ($k = 0, \dots, 6$)					
	p_1	p_2	p_3	p_4	p_5
0	1	0	0	0	0
1	0,904	0,048	0	0,048	0
2	0,8480	0,0570	0,0380	0,050	0,0046
3	0,8315	0,0542	0,0437	0,045	0,004
4	0,8292	0,0541	0,045	0,044	0,006
5	0,8276	0,054	0,0453	0,0438	0,007
6	0,8263	0,0539	0,045	0,0437	0,009

Полученные результаты свидетельствуют об удовлетворительном прогнозе продвижения состава «Москва – Новосибирск» при условии своевременного верного подхода к устранению неполадок, дефектов в конце каждого из шести шагов, то есть по

истечении в среднем каждого из последующих восьми часов. Последнее указывает на сосредоточение необходимой резервной помощи именно на остановках, приведённых в первой таблице.

Увеличение количества шагов данного Марковского процесса может уточнить прогноз относительно безопасности передвижения пассажирского состава. Как сказано выше, их количество произвольно.

В теории марковских цепей налицо теоретический материал, который даёт ответ на этот вопрос. Речь идёт о стационарном режиме системы, которая подлежит исследованию. Стационарный режим системы это режим, при котором его безусловные вероятностные характеристики всех состояний остаются

почти постоянными. В этом случае их называют финальными вероятностями. Для их отыскания используется формула, которая называется балансовым уравнением:

$$\sum_{j=1}^n p_{ji} \cdot p_j = p_i \cdot \sum_{j=1}^n p_{ij}$$

Данное уравнение даёт систему n линейных, алгебраических уравнений с n неизвестными. При их составлении удобно пользоваться размеченным графом. В нашем случае он принимает вид:

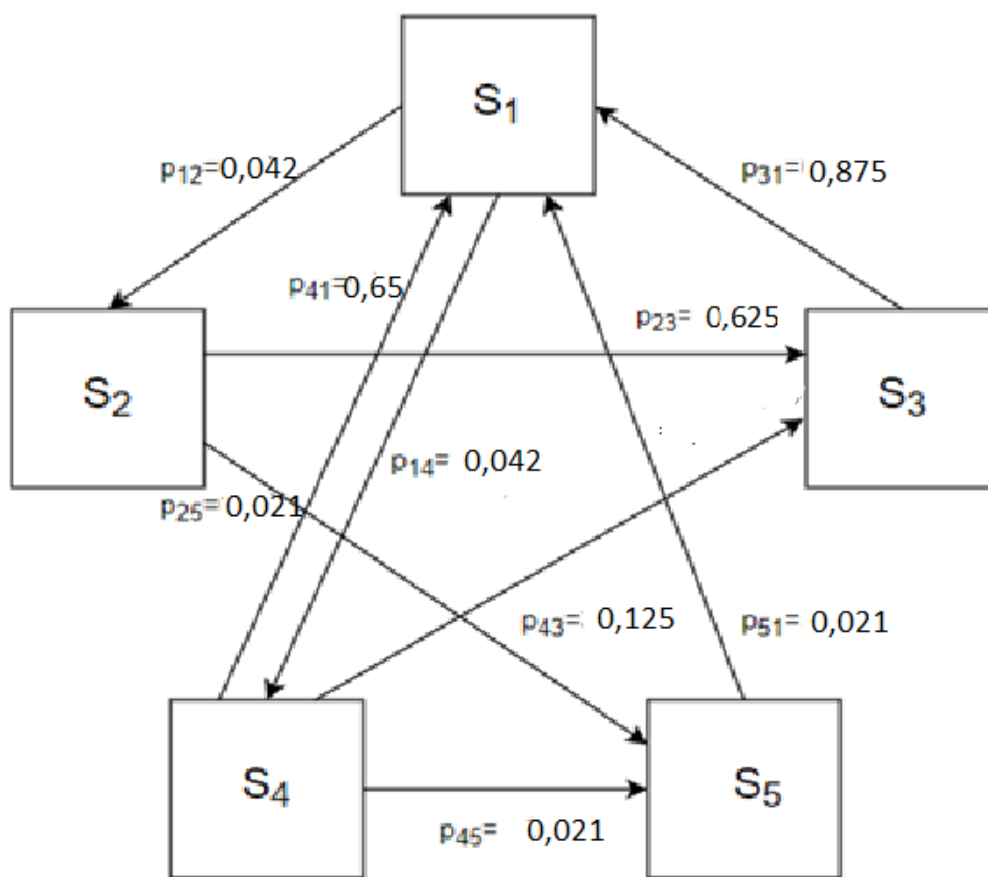


Рис.2. Размеченный граф технической системы «Пассажирский поезд Москва – Новосибирск»

На основе балансового уравнения составим пять уравнений с пятью неизвестными. Одно из уравнений можно заменить нормировочным уравнением: $p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 1$.

$$\begin{cases} p_1(p_{12} + p_{14}) = p_4 * p_{41} + p_5 * p_{51} + p_3 * p_{31}; \\ p_2(p_{23} + p_{25}) = p_1 * p_{12}; \\ p_3 * p_{31} = p_2 * p_{23} + p_4 * p_{43}; \\ p_4(p_{41} + p_{45}) + p_4 * p_{43} = p_1 * p_{14}; \\ p_5 * p_{51} = p_2 * p_{25} + p_4 * p_{45}. \end{cases}$$

Используем данные размеченного графа относительно переходных вероятностей p_{ij} и подставим в данную систему:

$$\begin{cases} p_1 * 0,084 - p_3 * 0,88 - p_4 * 0,65 - p_5 * 0,21 = 0; \\ p_1 * 0,042 - p_2 * 0,646 = 0; \\ p_2 * 0,625 - p_3 * 0,875 + p_4 * 0,125 = 0; \\ p_1 * 0,042 - p_4 * 0,796 = 0; \\ p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 = 1. \end{cases}$$

Решение данной системы имеет вид:
 $p_1 = 0,8435$; $p_2 = 0,0577$; $p_3 = 0,0476$; $p_4 = 0,0445$; $p_5 = 0,002$. Это финальные вероятности данной системы в условиях стационарного режима. Как было отмечено выше, они в ходе процесса далее практически неизменны.
 Сравним данные результаты с результатами, полученными с помощью рекуррентной формулы (результаты по «шагам» процесса): $p_1 = 0,8263$; $p_2 = 0,0539$; $p_3 = 0,045$; $p_4 = 0,0437$; $p_5 = 0,009$. Очевидно, что прогноз относительно

безопасного продвижения пассажирского состава подтвердился.

ВЫВОДЫ

В статье показано применение марковских цепей к исследованию систем с точки зрения отыскания безусловных вероятностей её состояний на всех шагах данного случайного процесса. Приведён альтернативный вариант для стационарного режима. Данная проблема рассмотрена с позиции прогнозирования безопасности движения пассажирских составов посредством цепей Маркова.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей : учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 5-е издание, стереотипное. – Москва : КНОРУС, 1998. – 576 с. – Текст : непосредственный.
2. **Вентцель, Е.С.** Теория случайных процессов и её инженерные приложения: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 5-е издание, стереотипное. – Москва : КНОРУС, 2011. – 448 с. – Текст : непосредственный.
3. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей: учебное пособие / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 4-е издание, стереотипное. – Москва : Наука, 1973. – 576 с. – Текст : непосредственный.
4. **Гихман, И.И.** Введение в теорию случайных процессов: учебное пособие /

И.И.Гихман, А.В. Скороходов. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : ГЭОТАР, 1977. – 568 с. – Текст : непосредственный.

5. **Круглов, В.М.** Случайные процессы : учебник для студентов учреждения высшего профессионального образования / В.М. Круглов. – Москва : ИЦ Академия, 2013. – 336 с. – Текст : непосредственный.

6. **Семиряжко, В.А.** Математические методы моделирования интегрированных экономических, технических и социальных структур : методические рекомендации к практическим занятиям / В.А. Семиряжко. – Липецк : Издательство Липецкого государственного технического университета, 2019. – 21 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:
Семиряжко Вера Александровна
кандидат педагогических наук,
доцент кафедры высшей математики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
berendeevo57@yandex.ru

Information about the authors:
Semiryazhko Vera Alexandrovna
Candidate of Pedagogical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Higher Mathematics,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/30343275_2025_2_32
УДК 621.313.1

Е.С. ДУВАНОВ, А.В. ПЯТЫХ

СРАВНЕНИЕ OPEN SOURCE ЛОКАЛЬНЫХ БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье проводится сравнительный анализ локальных больших языковых моделей DeepSeek, Msitral, Qwen, LLaMA и Claude Sonnet 3.7 с акцентом на их специализацию, методы оптимизации (квантование, дистилляция) и производительность. Рассмотрены ключевые особенности моделей: генерация кода, мультиязычность, универсальность, а также их требования к аппаратным ресурсам. Даны рекомендации по выбору решения для разных задач – от повседневных сценариев до сложных вычислений. Статья поможет пользователям подобрать оптимальную локальную большую языковую модель, учитывая их технические возможности и цели.

Ключевые слова: локальные большие языковые модели, квантование, дистилляция, оптимизация производительности, open-source.

E.S. DUVANOV, A.V. PYATIH

COMPARISON OF OPEN SOURCE LOCAL LARGE LANGUAGE MODELS

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article provides a comparative analysis of the local large language models DeepSeek, Msitral, Qwen and LLaMA with an emphasis on their specialization, optimization methods (quantization, distillation) and performance. The key features of the models are considered: code generation, multilingualism, versatility, as well as their requirements for hardware resources. Recommendations are given on choosing solutions for various tasks, from everyday scenarios to complex calculations. The article will help users choose the optimal local large language model taking into account their technical capabilities and goals.

Keywords: local large language models, quantization, distillation, performance optimization, open source.

ВВЕДЕНИЕ

GPT (Generative Pre-trained Transformer генеративный предварительно обученный трансформер) — это тип нейронных языковых моделей, основанных

на архитектуре Transformer, которая стала прорывом после фундаментальных работ в области глубокого обучения, таких как AlexNet [8]. Если AlexNet революционизировал компьютерное зрение,

то Transformer заложил основу для современных языковых систем, включая локальные большие языковые модели. В работах современных исследователей дается понятие локальных больших языковых систем как инструментов, трансформирующих подходы к обработке текстов и решению узкоспециализированных задач. Среди наиболее обсуждаемых решений на 1 квартал 2025 года выделяются DeepSeek, Mistral, Qwen и LLaMA. Учитывая изложенное, полагаем, что сравнение их особенностей, поддержки квантования и дистилляции, а также производительности представляет значительный интерес.

На текущий момент интеграция данных больших языковых моделей в промышленный сектор экономики имеет принципиально важное значение. Это обусловлено необходимостью обработки чувствительной информации локально, без передачи данных во внешние системы. Особенно актуально для биотехнических систем, где требуется дообучение (fine-

tuning) моделей на специализированных базах знаний, включая локальные нормативные документы и технологические карты, разработанные отраслевыми специалистами [2–7].

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнение классификации больших языковых моделей и сопоставление их характеристик, включая масштабируемость и применимость к узкоспециализированным задачам. Преимущества таких больших языковых моделей с открытым исходным кодом заключается в том, что их можно использовать на простых персональных компьютерах. Программа LM Studio, ollama [12] позволяет запускать модели с большого сообщества Hugging Face [15], на котором хранится огромное количество дистиллированных больших языковых моделей, обученных под конкретные задачи бизнеса.

Краткое описание моделей представлено в табл. 1.

Таблица 1

Описание локальных больших языковых моделей

Название	Страна производитель	Особенности ИИ	Вариации локальных моделей
DeepSeek	Китай	генерация кода, решение математических задач, сочетая высокую точность с оптимизацией для ресурсоёмких сценариев	DeepSeek-Coder (1.3B, 33B), универсальные варианты (7B, 67B)
Mistral	Франция	эффективность и скорость благодаря архитектуре Mixtral 8x7B (MoE), оптимизированной для работы на слабом железе	Mistral 7B — компактная базовая версия. Mixtral 8x7B — модель с экспертами (MoE)
Qwen	Китай	поддержка мультязычности, фокус на диалоговые системы и анализ данных	Qwen-1.8B, 7B, 14B, 72B — линейка для разных задач
LLaMA	США	универсальность, интеграция с сообществом (Llama.cpp, Ollama), адаптивность для кастомизации	LLaMA 7B, 13B, 70B — базовые версии для исследований и приложений.
Claude Sonnet 3.7	США	Высокая точность в обработке естественного языка, безопасность генерации, поддержка длинных контекстов (до 200 тысяч токенов). Оптимизирован для анализа данных и креативных задач.	Доступен через API, локальный запуск возможен через сторонние инструменты (например, Ollama с адаптированными весами).

КВАНТОВАНИЕ

Квантование представляет собой метод уменьшения размерности модели путем снижения точности вычислений (например, переход от 16-бит к 4-битным значениям). Это сокращает требования к памяти, однако может негативно влиять на качество результатов. LLaMA и Mistral поддерживают 4-битные и 8-битные форматы через llama.cpp. Например, Mistral 7B в 4-битной версии занимает около 4 ГБ [9].

DeepSeek - реализация квантования требует сторонних решений и калибровки данных.

Qwen - официальные инструменты Alibaba обеспечивают 8-битное и 4-битное сжатие.

Claude Sonnet 3.7: Официально не поддерживает квантование из-за закрытой

архитектуры. Однако сообщество разрабатывает экспериментальные 4-битные версии для локального использования (например, через GGUF-формат, MLX от Apple). Для работы требуется минимум 16 ГБ VRAM в FP16-формате.

ДИСТИЛЛЯЦИЯ

Следует отметить, что дистилляция – процесс переноса знаний от крупной модели («преподавателя») к компактной («студенту»), что позволяет сохранить ключевые функции при меньших затратах ресурсов [10].

Claude Sonnet 3.7: Anthropic не предоставляет дистиллированных версий. Сообщество создаёт упрощённые аналоги (например, Claude-Small-1.5B), но их качество уступает оригиналу на 20–30 %.

Преимущества и ограничения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Положительные и отрицательные аспекты локальных больших языковых моделей

Положительные аспекты	Отрицательные аспекты
Сокращение параметров (например, переход от 70B к 7B)	Частичная утрата сложных паттернов из-за упрощения структуры
Уменьшение нагрузки на аппаратную часть	Зависимость от качества обучающего набора и исходной модели
Повышение скорости обработки запросов	Повышенный риск галлюцинаций

ПРИМЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Модель TinyLLaMA с 1.1B параметров — уменьшенный аналог LLaMA-7B, сохраняющий 90 % эффективности. Методология: Упрощение архитектуры и обучение на вероятностях, генерируемых учителем [14].

Модель Mistral с 7B параметров может выступать основой для микро-версий (3B), несмотря на изначальную оптимизацию. Архитектура MoE (смесь экспертов) в Mixtral 8x7B упрощает выделение экспертных блоков для дистилляции.

Qwen с 1.8B параметров - облегчённый вариант Qwen-7B, обученный на диалогах. Подход: Сокращение слоёв и

использование «мягких» меток от исходной модели [13].

DeepSeek-Coder с 1.3B параметров – сжатая версия 33B-модели для генерации кода. Акцент сделан на сохранение логических навыков [11].

Официальных локальных версий пока нет, но энтузиасты делают свои модели. Например, Claude-Small с 1.5B параметров – дистиллированный аналог, обученный на Sonnet 3.7.

ОБЪЕМЫ МОДЕЛЕЙ

Размерность системы (в миллиардах параметров) определяет её возможности и требования к оборудованию (табл. 3):

Размерности локальных больших языковых моделей

Модель	Доступные размеры	Оптимальное применение
DeepSeek	1.3B, 7B, 33B, 67B	Программирование, точные науки
Mistral	7B, 8x7B (MoE)	Повседневные задачи, мобильные устройства
Qwen	1.8B, 7B, 14B, 72B	Мультиязычные платформы
LLaMA	7B, 13B, 70B	Научные эксперименты, адаптация
Claude Sonnet 3.7	12B	Программирование, анализ данных, креативные задачи, безопасная генерация текста.

Компактные модели (1–7B):
Подходят для CPU и бюджетных GPU, но уступают в точности.

Крупные (33B+): Требуют профессионального железа, демонстрируют высокую эффективность в сложных сценариях.

СРАВНЕНИЕ ПО СФЕРАМ ПРИМЕНЕНИЯ

Генерация кода:

DeepSeek-33B — лидер благодаря фокусу на алгоритмических задачах.

LLaMA-70B — альтернатива при наличии ресурсов для дообучения.

Мультиязычность:

Qwen 72B демонстрирует превосходство в обработке китайского и английского языков.

Повседневные задачи:

Mistral 7B — баланс между скоростью и качеством.

LLaMA-13B — универсальность ценой повышенного потребления памяти.

Креативные задачи и анализ данных:

Claude Sonnet 3.7 — выделяется в генерации связных длинных текстов (статьи, сценарии) благодаря поддержке контекстов до 200k токенов. Оптимизирован для анализа таблиц, логических выводов и безопасной генерации (встроенные фильтры контента).

Недостаток: Высокие требования к ресурсам (рекомендуется GPU с 16+ ГБ VRAM).

Креативные сценарии:

Qwen-14B выделяется в генерации творческого контента.

Claude Sonnet 3.7 — сильный игрок в креативных и аналитических задачах, но требует мощного железа (рекомендуется GPU с 16+ ГБ VRAM).

Для локального использования предпочтительны квантованные версии через Ollama, но качество может снижаться.

В сравнении с другими моделями:

Плюсы: Безопасность, работа с длинными контекстами.

Минусы: Закрытая архитектура, высокая ресурсоёмкость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для слабых устройств предпочтительны Mistral и квантованные версии LLaMA. Крупные системы (70B+) требуют кластеризации GPU и работают медленнее. Для кода и математики лучшего всего подходит DeepSeek-33B и Claude Sonnet 3.7. Для мультиязычных проектов Qwen-72B либо облегченный Qwen-1.8B. Лучшая скорость и экономичность Mistral 7B с квантованием. Гибкость LLaMA-70B с возможностью кастомизации. Для креатива и анализа данных: Claude Sonnet 3.7.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Etzaniz, J.** BERTAQA: How Much Do Language Models Know About Local Culture? / J. Etzaniz. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 2024, Т. 37, 34077–34097 p. – Text : immediate.
2. **Пашенко, А.Ф.** Предиктивное управление тепловым процессом инкубации на основе нечеткой логики при неполной информации технологических уставок / А.Ф. Пашенко, Е.С. Дуванов, М.Ю. Шишов. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023687519, 14.12.2023. Заявка № 2023684494 от 16.11.2023. – Текст : непосредственный.
3. **Пашенко, А.Ф.** Программный комплекс автоматической настройки системы управления тепловыми процессами инкубации гибридными методами / А.Ф. Пашенко, Е.С. Дуванов, Д.С. Бестиков. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2024614442, 26.02.2024. Заявка № 2024612883 от 13.02.2024. – Текст : непосредственный.
4. **Дуванов, Е.С.** Особенности управления процессом инкубации / Е.С. Дуванов, Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Пашенко. – Текст : непосредственный // Информатика и системы управления, 2023, Т. 4, № 78. – С.18–29.
5. Forecast of economic development in Russia 2022–035 / V.I. Antilov, F.F. Pashchenko, Y.I. Kudinov, E.S. Duvanov. – Text : immediate // In 2022 2nd International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE), 2022, – Lipetsk. – P. 220–224.
6. Analysis of the Technological Process of Egg Incubation and Formulation of the Control Problem / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, V.S. Duvanov. – Text : immediate // In 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – Lipetsk. – P. 769–773.
7. **Duvanov, E.S.** Features of Egg Incubation Process Control / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko. – Text : immediate // In 2022 4th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA), Lipetsk. – P. 494–499.
8. **Alom, M.Z.** The history began from alexnet : A comprehensive survey on deep learning approaches. / M.Z. Alom, arXiv preprint arXiv:1803.01164, 2018. P. 1–39. – Text : immediate.
9. **Kalantidis, Y.** Locally optimized product quantization for approximate nearest neighbor search / Y. Kalantidis, Y. Avrithis. – Text : immediate // Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition., 2014. – P. 2321–2328.
10. **Byrne, G.D.** Distillation calculations using a locally parameterized continuation method / G.D. Byrne, L.A. Baird. – Text : immediate // Computers & chemical engineering, 1985, Т. 9, № 6. – С. 593–599.
11. **Peng, Y.** DeepSeek is open-access and the next AI disrupter for radiology / Y. Peng, Q. Chen, G. Shih. – Text : immediate // Radiology Advances, 2025, Т. 2, № 1. – P. 1–3.
12. **Звайгзне, А.Ю.** Тестирование и сравнение нового функционала LM Studio при работе с нейронными сетями, развернутыми локально с онлайн решениями /А. Ю. Звайгзне. – Текст : электронный // Электронный научный журнал «Постулат». – 2024. – № 12. – С. 1–12.
13. **Jiayi, L.I.** Method for judicial document summarization by combining prompt learning and Qwen large language models. / L.I. Jiayi, Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2024, Т. 64, № 12. – 2007. – 2018 p. – Text : immediate.
14. **Caglar, T.** LLAMA: The MBH-relation of the most luminous local AGNs. Astronomy & Astrophysics / T. Calgar, 2020, Т. 634. – P. 1–29. – Text : immediate.
15. **Jain, S.M.** Hugging face / S.M. Jain. – Text : immediate // Introduction to transformers for NLP: With the hugging face library and models to solve problems. – 2022, – P. 51–67.

Сведения об авторах:

Дуванов Евгений Сергеевич

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
информатики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
evgenyduvanov@yandex.ru

Information about the authors:

Duvanov Eugene Sergeevich

Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of
Computer Science
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.
evgenyduvanov@yandex.ru

Пятых Александр Валерьевич

студент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
etosany@yandex.ru

Pyatih Alexander Valerievich

Student of the Department of Computer
Science,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.
etosany@yandex.ru

DOI 10.53015/30343275_2025_2_37
УДК 004.056.5

Р.В. БАТИЩЕВ, В.В. БЛУДОВ, Ю.А. ГАРШИНА

АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПОПУЛЯРНЫХ ЯЗЫКАХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: в статье рассматриваются проблемы безопасности, связанные с использованием современных языков программирования. Проведен сравнительный анализ уязвимостей в таких языках, как Python, Java, JavaScript, C, C++ и PHP. Особое внимание уделено частоте возникновения и степени опасности различных типов уязвимостей, включая межсайтовый скриптинг, SQL-инъекции и переполнение буфера. Результаты исследования показывают, что уровень безопасности существенно варьируется в зависимости от выбранного языка программирования, при этом C и C++ демонстрируют наибольшую уязвимость. Статья также содержит рекомендации по снижению рисков для разработчиков программного обеспечения.

Ключевые слова: CWE (общий перечень уязвимостей), безопасность данных, уязвимости программного кода.

ANALYSIS OF SECURITY VULNERABILITIES IN POPULAR PROGRAMMING LANGUAGES

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article examines security issues associated with the use of modern programming languages. A comparative analysis of vulnerabilities in such languages as Python, Java, JavaScript, C, C++, and PHP is presented. Special attention is paid to the frequency and severity of various types of vulnerabilities, including cross-site scripting, SQL injections, and buffer overflow. The research results show that the security level varies significantly depending on the selected programming language, with C and C++ demonstrating the highest vulnerability. The article also provides recommendations for developers to mitigate risks.

Keywords: CWE (Common Weakness Enumeration), data security, coding vulnerabilities.

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы безопасности в программном обеспечении могут вызывать серьёзные последствия во всех сферах деятельности. Одним из ключевых факторов, влияющих на уровень безопасности, является выбор языка программирования. Например, при разработке веб-сайтов или сервисов для компаний специфика языка может предопределить наличие определённых уязвимостей в готовом продукте [1].

Ярким примером является ошибка при вводе данных в банковском приложении. Если пользователь введёт неверный номер счёта, система может некорректно обработать запрос, что приведёт к ошибочному переводу средств. Даже механизмы проверки, такие как контрольные суммы, не всегда эффективны – они работают лишь в 92 % случаев [2]. Кроме того, ошибки переполнения буфера позволяют злоумышленникам обходить системы защиты, что делает их особенно опасными [3].

Уязвимости в программном коде можно классифицировать на четыре основные категории:

- 1) межсайтовый скриптинг (XSS) – внедрение вредоносного кода на доверенные веб-сайты;
- 2) SQL-инъекции – использование уязвимостей для доступа к закрытым данным;

- 3) командные инъекции – выполнение произвольных команд через уязвимости в проверке входных данных;
- 4) криптографические атаки – направлены на нарушение конфиденциальности, целостности или аутентификации данных.

Например, 86 % приложений, написанных на PHP, содержат как минимум одну уязвимость XSS или подвержены командным инъекциям [4]. Однако уровень риска зависит от языка: C и C++ менее уязвимы к XSS, но более подвержены ошибкам переполнения буфера. Криптографические атаки, в свою очередь, являются наиболее распространёнными и сложными для предотвращения.

Для анализа уязвимостей был проведён систематический обзор научных публикаций и данных из открытых источников, таких как Google Scholar и базы данных по информационной безопасности. Основное внимание уделялось выявлению характерных уязвимостей для каждого языка и оценке их влияния на безопасность приложений.

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

1.1. Python

Python, занимающий лидирующую позицию по популярности (23,85 % [5]), демонстрирует относительно низкий

уровень уязвимостей. Однако существуют несколько критических проблем.

1. Недостаточная проверка ввода (CWE-20): отсутствие строгой валидации пользовательского ввода может привести к инъекционным атакам. Например, передача необработанных данных в системные команды через `os.system()` [7].
2. Проблемы контроля доступа (CWE-264): неправильная настройка разрешений часто приводит к несанкционированному доступу [6].

1.2. JavaScript

Основной язык веб-разработки (используется в 95% сайтов [8,9]) имеет специфические уязвимости.

1. Прототипное загрязнение: возможность модификации `Object.prototype` приводит к нарушению логики приложения.
2. Небезопасные зависимости: 98 % проектов содержат устаревшие пакеты npm с известными уязвимостями [9].
3. Проблемы CORS: неправильная конфигурация заголовков позволяет проводить CSRF-атаки.

1.3. Java

Несмотря на строгую типизацию, Java имеет характерные проблемы.

1. Уязвимости библиотек: 80% проектов содержат зависимости с известными уязвимостями (Log4Shell и др.) [11].
2. Ошибки сериализации: позволяют выполнять произвольный код при десериализации.
3. Reflection API: может использоваться для обхода ограничений доступа.

1.4. C

Язык системного программирования с наиболее опасными уязвимостями.

1. Переполнение буфера: позволяет перезаписывать адрес возврата и выполнять произвольный код [14].
2. Dangling pointers: обращение к освобожденной памяти вызывает неопределенное поведение.
3. Format string: неправильное использование `printf()` приводит к утечке данных.

1.5. C++

Наследует проблемы C и добавляет новые.

1. Утечки памяти: отсутствие автоматического управления памятью.
2. Уязвимости STL: проблемы итераторов и аллокаторов.
3. Небезопасное приведение типов: позволяет обходить систему типов.

1.6. PHP

Язык веб-разработки с характерными проблемами.

1. Слабая типизация: неявные преобразования типов нарушают логику.
2. SQL-инъекции: экранирование параметров требует ручного контроля.
3. Небезопасные загрузки файлов: позволяет выполнять произвольный код.

2. ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ И АССОЦИИРОВАННЫЕ РИСКИ

2.1. Python

Основные сферы применения:

- веб-разработка (Django, Flask): риски XSS и CSRF;
- Data Science: утечки данных через pickle;
- скриптинг: инъекции через subprocess.

Пример: 92 % Django-приложений содержат хотя бы одну уязвимость CWE-20 [18].

2.2. JavaScript

Ключевые направления:

- фронтенд-разработка: XSS через innerHTML;
- серверные приложения (Node.js): инъекции через eval();
- мобильные приложения (React Native): утечки данных.

Пример: 78 % атак на веб-приложения используют JavaScript-уязвимости [21].

2.3. C/C++

Основные сценарии использования:

- операционные системы: уязвимости драйверов;
- встраиваемые системы: отсутствие защиты памяти;
- высокопроизводительные вычисления: race conditions.

Пример: 60 % уязвимостей в ядре Linux связаны с переполнением буфера [22].

2.4. PHP

Типичные применения:

- CMS (WordPress, Drupal): SQL-инъекции;
- веб-сервисы: XXE через SimpleXML;
- E-commerce: уязвимости платежных систем.

Статистика: 43 % взломов веб-сайтов используют PHP-уязвимости [25].

3. КИБЕРАТАКИ ПО ТИПАМ УЯЗВИМОСТЕЙ

3.1. Межсайтовый скриптинг (XSS)

XSS – это атака, при которой злоумышленник внедряет вредоносный скрипт на доверенный веб-сайт. Когда пользователь заходит на такой сайт, скрипт выполняется в его браузере, что может привести к краже данных (например, cookies или сессий), перенаправлению на фишинговые страницы или выполнению несанкционированных действий от имени пользователя. XSS делится на три типа: хранимый (постоянный), отражённый (непостоянный) и DOM-based (на основе модели документа). Более 60 % веб-приложений уязвимы к XSS, что делает эту атаку одной из самых распространённых [28]. Особенно подвержены XSS языки, такие как PHP, JavaScript, Java и Python [6].

3.2. Проверка входных данных

Эта уязвимость возникает, когда приложение не проверяет или некорректно обрабатывает данные, введённые пользователем. Злоумышленник может использовать это для внедрения вредоносного кода, выполнения несанкционированных команд или получения доступа к закрытой информации. Например, ввод SQL-команд в поле для email может привести к утечке данных. Проблемы с проверкой входных данных характерны для многих языков, включая C, Java, C++ и Python [6]. Для

защиты необходимо применять строгую валидацию и удаление устаревших данных.

3.3. SQL-инъекции

SQL-инъекция – это атака, при которой злоумышленник вставляет вредоносный SQL-код в запросы к базе данных. Это позволяет обойти аутентификацию, получить доступ к конфиденциальным данным или даже удалить таблицы. Например, ввод строки ' OR '1'='1 в поле для логина может привести к обходу проверки пароля. SQL-инъекции составляют более 65,1 % всех атак на веб-приложения [29]. Наиболее уязвимы языки, такие как PHP, из-за частого использования в веб-разработке [6]. Для предотвращения таких атак рекомендуется использовать параметризованные запросы и ORM.

3.4. Переполнение буфера

Переполнение буфера происходит, когда программа записывает данные за пределы выделенной памяти, что может привести к выполнению произвольного кода или краху системы. Эта уязвимость особенно характерна для языков C и C++, которые не проверяют границы массивов во время компиляции [14]. Например, злоумышленник может перезаписать адрес возврата функции, чтобы перенаправить выполнение программы на свой код. Переполнение буфера занимает первое место в списке самых опасных уязвимостей [30]. Для защиты необходимо использовать безопасные функции работы с памятью и современные инструменты анализа кода.

ВЫВОДЫ

C и C++ остаются наиболее уязвимыми языками, в то время как Python, Java и JavaScript демонстрируют лучшие показатели безопасности. Для снижения рисков разработчикам следует учитывать специфику уязвимостей каждого языка и применять соответствующие меры защиты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Petrosyan, A.** Number of Data Breaches and Victims U.S. 2022. – Text : electronic // Statista. – 2023. – URL: <https://www.statista.com/statistics/273550/data-breaches-recorded-in-the-united-states-by-number-of-breaches-and-records-exposed/> (дата обращения: 12.03.2025).
2. **Olsen, K. A.** Two Cases of Bad Web Usability: Banking and Employee Self Service / K. A. Olsen // UniTech 2010 : proceedings. – Oslo : Tapir Forlag, 2010. – P. 19. – ISBN 978-82-519-2634-2.
3. **Caballero, C.** Software Architecture: Therac-25 the Killer Radiation Machine. – 2019. – URL: <https://www.cs.toronto.edu/~arnold/427/19w/readings/therac-25/> (дата обращения: 12.03.2025).
4. **Khandelwal, S.** These Top 10 Programming Languages Have Most Vulnerable Apps on the Internet. – 2015. – URL: <https://thehackernews.com/2015/03/most-vulnerable-programming-languages.html> (дата обращения: 12.03.2025).
5. **TIOBE Index.** – 2025. – URL: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/> (дата обращения: 14.03.2025).
6. **Mend.** Most Secure Programming Languages. – 2022. – URL: <https://www.mend.io/resources/blog/most-secure-programming-languages/> (дата обращения: 12.03.2025).
7. **Bless, G.** Most Common Python Vulnerabilities and How To Avoid Them. – 2021. – URL: <https://snyk.io/blog/most-common-python-vulnerabilities/> (дата обращения: 13.03.2025).
8. **Stack Overflow Developer Survey 2024.** – 2025. – URL: <https://survey.stackoverflow.co/2024/technology#most-popular-technologies-language> (дата обращения: 13.03.2025).
9. **Hollander, M.** Most Common Security Vulnerabilities Using JavaScript // Secure Coding. – 2020. – URL: <https://www.securecoding.com/blog/javascript-security-vulnerabilities/> (дата обращения: 12.03.2025).
10. **Oracle.** Moved by Java Timeline. – 2022. – URL: <https://www.oracle.com/java/moved-by-java/> (дата обращения: 12.03.2025).
11. **DZoneRefcardz.** Java Application Vulnerabilities. – 2022. – URL: <https://dzone.com/refcardz/java-security-vulnerabilities> (дата обращения: 13.03.2025). – Text : electronic.
12. **Rahaman, S.** CryptoGuard: High Precision Detection of Cryptographic Vulnerabilities in Massive-Sized Java Projects / S. Rahaman et al. // Proceedings of the 2019 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – London, 2019. – P. 2455–2472. – Text : electronic. – Text : electronic.
13. **Hewlett Packard Enterprise (HPE).** Making C Less Dangerous. – 2022. – URL: <https://www.hpe.com/us/en/insights/articles/making-c-less-dangerous-2203.html> (дата обращения: 15.03.2025).
14. **Parasoft.** Battling Buffer Overflows & Other Memory Management Bugs. – 2020. – URL: <https://www.parasoft.com/blog/battling-buffer-overflows/> (дата обращения: 13.03.2025).
15. **Dias, B.** Most Dangerous CWEs of 2021. – 2022. – URL: <https://www.synopsys.com/blogs/software-security/most-dangerous-cwes-2021/> (дата обращения: 13.03.2025).
16. **Raygun Blog.** 10 Popular PHP Frameworks for Web Developers to Consider in 2021. – 2021. – URL: <https://raygun.com/blog/php-frameworks-2021/> (дата обращения: 17.03.2025).
17. **Singla, L.** What Is PHP for Web Development and Why Should You Use It? // Insights–Web and Mobile Development Services and Solutions. – 2021. – URL: <https://www.monocubed.com/blog/what-is-php/> (дата обращения: 14.03.2025).
18. **upGrad blog.** Top 12 Fascinating Python Applications in Real-World 2022. – 2022. – URL: <https://www.upgrad.com/blog/python-applications-in-real-world/> (дата обращения: 17.03.2025).
19. **Coursera.** What Is Python Used For? A Beginner's Guide. – 2023. – URL: <https://www.coursera.org/articles/what->

is-python-used-for-a-beginners-guide-to-using-python (дата обращения: 16.03.2025).
Meltzer, R. What Is JavaScript Used For?. – Text : electronic // Lighthouse Labs. – 2020. – URL: <https://www.lighthouselabs.ca/en/blog/what-is-javascript-used-for> (дата обращения: 17.03.2025).

20. **Usage Statistics of JavaScript as Client-Side Programming Language on Websites.** – 2022. – URL: <https://w3techs.com/technologies/details/cp-javascript> (дата обращения: 17.03.2025). – Text : electronic.

21. **OpenEDG.** Learn C and C++, the Languages of the Past and Today. – 2022. – URL: <https://www.openedg.org/> (дата обращения: 12.02.2025).

22. **Castro, S.** 6 Reasons C++ Is Still In Use Today. – 2021. – URL: <https://www.udacity.com/blog/2021/05/6-reasons-cpp-is-still-in-use-today.html> (дата обращения: 17.03.2025).

23. **Chris, K.** What Is PHP? The PHP Programming Language Meaning Explained. URL: <https://www.freecodecamp.org/news/what-is-php-the-php-programming-language-meaning-explained/> (дата обращения: 17.03.2025).

24. **Fleury, D.** 7 Global Websites That Use PHP in 2022 // Trio Developers. – 2020. – URL: <https://trio.dev/blog/websites-that-use-php> (дата обращения: 18.03.2025).

25. **Almansoori, M.** Textbook Underflow: Insufficient Security Discussions in Textbooks Used for Computer Systems Courses / M. Almansoori // Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education. – Virtual Event, 2021. – P. 1212–1218. –

26. **National Vulnerability Database (NVD).** CVSS Severity Distribution over Time. – 2022. – URL: <https://nvd.nist.gov/general/visualizations/vulnerability-visualizations/cvss-severity-distribution-over-time> (дата обращения: 18.03.2025).

27. **Mack, J.** A Study of Existing Cross-Site Scripting Detection and Prevention Techniques Using XAMPP and Virtual Box / J. Mack, Y. H. Hu, M. A. Hoppa // Virginia Journal of Science. – 2019. – Vol. 70. – P. 23. – ISSN 0042-658X.

28. **Akamai Threat Research Points to Gaming Industry as a Rising Target with 12 Billion Attacks and Counting.** – 2019. – URL: <https://www.akamai.com/newsroom/press-release/akamai-threat-research-points-to-gaming-industry-as-a-rising-target> (дата обращения: 19.03.2025).

29. **Common Weakness Enumeration (CWE).** 2022 CWE Top 25 Most Dangerous Software Weaknesses. – 2022. – URL: https://cwe.mitre.org/top25/archive/2022/2022_cwe_top25.html (дата обращения: 19.03.2025).

Сведения об авторах:

Батищев Роман Вячеславович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информатики, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30.

gav_1989@bk.ru

Блудов Владислав Владимирович

студент гр. АС-21-1 кафедры автоматизированных систем управления, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30.

phosphor48@mail.ru

Information about the authors:

Batishchev Roman Vyacheslavovich

Candidate of Technical Sciences, associate Professor, Head of the Department of Computer Science, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya St., 30.

gav_1989@bk.ru

Bludov Vladislav Vladimirovich

Student of the group AS-21-1, Department of Automated Control Systems, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya St., 30.

phosphor48@mail.ru

Гаршина Юлия Андреевна
студент гр. АС-21-1 кафедры
автоматизированных систем управления,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д.30.
garshina.yuliya14@mail.ru

Garshina Yulia Andreevna
Student of the group. AS-21-1
Department of Automated Control Systems,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya St., 30.
garshina.yuliya14@mail.ru

DOI 10.53015/30343275_2025_2_43
УДК 621.313.1

Е.С. ДУВАНОВ, Д.А. ЧУРКИН

СРАВНЕНИЕ DIRECTX, OPENGL, VULKAN, METAL

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье проводится обзор современных API для взаимодействия с GPU, такие как OpenGL, Vulkan и DirectX, со сравнением их производительности, синтаксиса и трудностей при выборе. Упомянуты спецификации API и область их применения. Проведен **бенчмарк** на различных компонентах персонального компьютера, демонстрирующий преимущества и ограничения каждого решения. Приведены примеры особенностей при написании программ. Дана краткая справка о истории API. В заключении приведены **рекомендации** по выбору API для конкретных задач. Материал будет полезен разработчикам, чьи программы напрямую зависят от GPU.

Ключевые слова: API, DirectX, Vulkan, Metal.

E.S. DUVANOV, D.A. CHURKIN

COMPARISON OF DIRECTX, OPENGL, VULKAN, METAL

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article provides an overview of modern APIs for interacting with the GPU, such as OpenGL, Vulkan, and DirectX comparing their performance, syntax, and difficulties in selection. API specifications and their scope are mentioned. A benchmark is conducted on various components of a personal computer demonstrating the advantages and limitations of each solution. Examples of features when writing programs are given. A brief background on the history of the API is given. The conclusion suggests recommendations for selecting an API for specific tasks. The material will be useful for developers whose programs directly depend on the GPU.

Keywords: API, DirectX, Vulkan, Metal.

ВВЕДЕНИЕ

API (Application Programming Interface) - программный интерфейс, то есть описание способов взаимодействия одной компьютерной программы с другими.

Задача API обеспечить взаимодействие между разными программами путем создания общего протокола данных для ввода и вывода информации.

На текущий момент развитие API проходит период застоя. Многие системы уже настроены на работу с конкретными API (даже если они устаревшие) и перенос настолько большого объема программ для многих компаний не является приоритетной задачей, как пример можно назвать OpenGL который вышел 1 июля 1992 г., а последняя его версия 31 июля 2017 г.. На текущий момент его альтернативой является Vulkan, вышедший 16 февраля 2016 г., последнее обновление которого вышло 3 апреля 2025 г., но несмотря на то, что Vulkan является более современным, OpenGL все еще занимает большую часть рынка кроссплатформенных API.

В данной работе представлено сравнение сложности архитектуры и производительности различных API для 2D- и 3D-графики.

Актуальность подтверждается практической необходимостью разработчиков программ (компьютерных игр, в частности) на удобный и производительный API.

API это незаменимый компонент в области разработки программного обеспечения, API скрыто от глаз пользователей, но именно оно позволяет автоматизировать взаимодействие со всеми компонентами системы и убирает необходимость углубляться в работу компонентов. Следует знать о всех вариантах API для того, чтобы во время разработки выбрать наиболее подходящую под требования и условия разработки.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Начнем с того, что комбинаций компонентов ПК неограниченное количество, что вызывает трудности при запуске проектов на различных устройствах. Именно эту проблему решает API. Вместо того чтобы настраивать каждое устройство под каждое отдельное приложение (или наоборот каждое отдельное приложение под каждое устройство), можно настроить все для работы с одним единственным API, и в случае обновления конфигурации, достаточно будет только обновить API и лишь с той стороны, на которой происходит обновление.

Первый API был представлен Компанией IBM в 1964 г. в рамках операционной системы OS/360. API представлял собой набор системных вызовов для управления памятью. Реализация подобных вызовов стандартизировала работу с железом для разных приложений.

Создание и использование API имеет свои трудности, такие как:

Безопасность – уязвимости позволяют злоумышленникам получить доступ к файлам и компонентам, не предназначенным для чтения и редактирования посторонними.

Сложность проектирования интерфейса – API с высоким уровнем абстракции не даст достаточного функционала для реализации всех задуманных функций, а слишком низкий уровень абстракции приведет к значительному росту сложности производства, к поддержке и оптимизации ПО.

Поэтому выбор API является крайне важным решением, так как неподходящий под задачи API в будущем принесет множество проблем.

API различаются по специализации:

Веб-API - для работы с удаленными системами через интернет.

API операционных систем - для взаимодействия программ и операционной системы

Аппаратные API - для работы с физическими компонентами

Весомым плюсом является кроссплатформенность, так как она сильно экономит время при партировании программ на другие операционные системы.

Веб-API настраивается на стороне сервера и с помощью выбранного протокола связи другие устройства/программы могут получить к нему доступ.

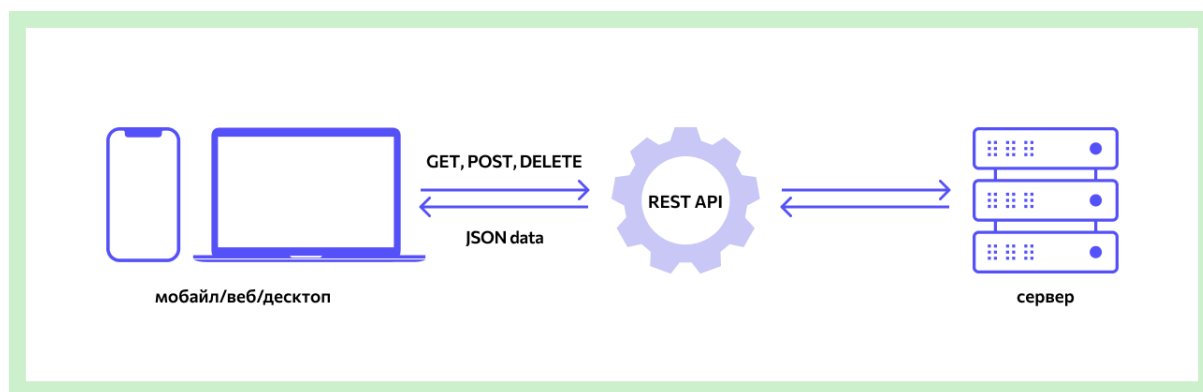


Рис 1. Схема работы Web API

Зачем нужны API если существуют драйвера? Во время разработки Windows, Microsoft столкнулась с проблемой, их операционная система распространялась на компьютеры с различными видеокартами, драйвера от производителей карт позволяли через операционную систему получить доступ к вычислительным ресурсам, но для каждой программы требовалось прописывать собственные настройки для всех моделей компонентов, что спустя время могло привести к тому, что многие программы просто не работали бы на конкретных моделях видеокарт. Было решено создать API, с помощью которого разработчики смогли бы один раз настроить взаимодействие между пользователем и видеокартой, а API будет работать с железом, и вместо оптимизации всех программ нужно будет оптимизировать только сам API.

После того как мы определили, для чего нам нужен API, осталось выбрать подходящий для нас вариант. Рассмотрим примеры аппаратных API, будет рассматриваться API для работы с графикой (GPU), такие как DirectX (Direct3D), Vulkan и OpenGL.

OpenGL (Open Graphics Library) – это кроссплатформенный графический API, поддерживаемый на множестве операционных систем, включая Windows, macOS и Linux.

Vulkan – это относительно новый графический API, разработанный Khronos Group. Он предлагает низкоуровневый доступ к графическому оборудованию, что позволяет разработчикам более точно контролировать производительность.

DirectX – это набор API (интерфейсов программирования) от Microsoft, предназначенный для разработки мультимедийных приложений, особенно игр и графических программ под Windows и Xbox.

Metal – это API разработанный компанией Apple, для работы программ на процессорах Apple Silicon на архитектуре ARM.

Сначала необходимо определить операционную систему, на которой выпускается продукт. Если API кроссплатформенный, то этап можно пропустить. Если предполагается использование ПО на виртуальной машине, то стоит обратить внимание на то, что некоторые виртуальные машины

взаимодействуют напрямую с API физического устройства, значительно повышая производительность виртуальной машины. Когда выбираем API для написания игры, то стоит выбрать вариант, который максимально подходит под устройства вашей целевой аудитории.

Тест проводился в программе Gravity Mark, результаты будут

представлены на графике. Тестирование проведено на персональном компьютере, компоненты которого указаны в таблице. Тест metal не проводился, так как metal предназначен для другой архитектуры и другой ОС, что делает объективное сравнение производительности затруднительной задачей.

Таблица

Компоненты тестового стенда

Процессор	AMD Ryzen 7 5800X
Видеокарта	Radeon RX 6800 XT 16 ГБ GeForce RTX 3060 Ti 8G
Материнская плата	ASUS TUF Gaming X570 Plus
Память	16 ГБ DDR4 Corsair Vengeance LED @ 3200 МГц
Операционная система	64-разрядная версия Windows 10 v20H2

Для более точных показаний тестирование проводится на двух моделях видеокарт от разных производителей. В данном случае от Nvidia и AMD.

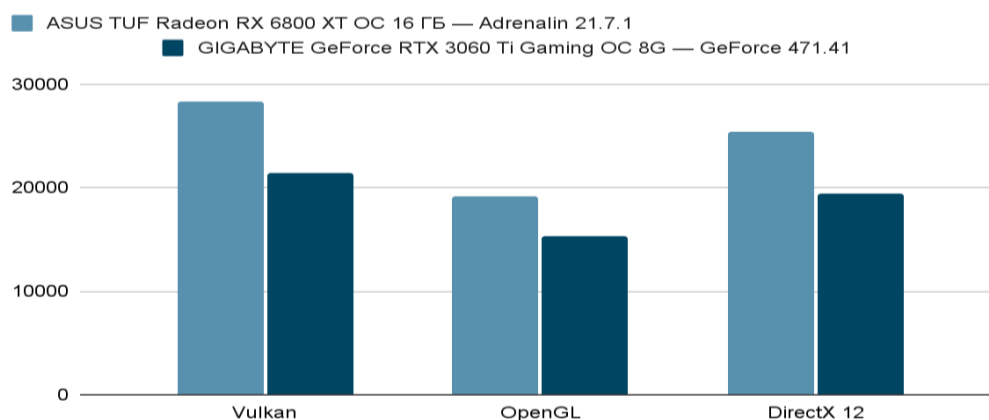


Рис. 2. График с результатами тестирования

На графике изображены результаты бенчмарка на трех API, результаты представлены в баллах, выданных приложением Gravity Mark. Из полученных данных можно сделать вывод что для видеокарт от AMD Vulkan является самым эффективным в синтетических тестах, он на 10 % производительнее DirectX и на 32 % производительнее OpenGL. Также следует отметить, что Vulkan является кроссплатформенным.

OpenGL показал себя хуже всех, что свидетельствует о том, что этот API является устаревшим и не предпочтительным в тяжелом ПО.

Для видеокарт Nvidia разница между DirectX и Vulkan незначительна и составляет только 9.17 % в пользу Vulkan. Не стоит забывать, что синтетические тесты не всегда показывают производительность в настоящих программах, так как на производительность сильно влияет оптимизация конкретной программы для конкретного API.

Соответственно Vulkan является предпочтительнее, так как производительность выше, чем на остальных API и также он является кроссплатформенным, что упрощает разработку под несколько операционных систем. Но почему DirectX все еще занимает большую долю на рынке? Для того чтобы разобраться, придется обратиться к документации.

При сравнении синтаксиса обоих API видно, что вулкан имеет более низкоуровневый доступ к ресурсам видеокарты, нежели DirectX, что помогает лучше оптимизировать приложение, но значительно усложняет разработку. Сравним коды, написанные для разных API, но которые выполняют идентичные функции.

В DirectX процесс инициализации скрывает множество деталей за высокоуровневой оберткой. Создание устройства, настройка контекста и отрисовка примитивов выполняются через вызовы API, предоставляемые системой. Приведенный ниже код демонстрирует создания устройства рендеринга.

```
D3D11CreateDeviceAndSwapChain(  
    nullptr,  
    D3D_DRIVER_TYPE_HARDWARE,  
    nullptr,  
    0,  
    nullptr,  
    0,  
    D3D11_SDK_VERSION,  
    &swapChainDesc,  
    &swapChain,  
    &device,  
    nullptr,  
    &context );
```

В данном примере видно, что инициализация устройства происходит через одну функцию, в которой указываются параметры, «nullptr» означает выбор по умолчанию.

Первый параметр, в котором указан «nullptr», указывает на GPU, который будет использоваться для рендеринга, и как видно в примере, можно указать выбор карты по умолчанию. Теперь посмотрим на часть кода в Vulkan:

```
uint32_t deviceCount = 0;
vkEnumeratePhysicalDevices(instance, &deviceCount, nullptr);
VkPhysicalDevice* devices = new VkPhysicalDevice[deviceCount];
vkEnumeratePhysicalDevices(instance, &deviceCount, devices);
VkPhysicalDevice selectedDevice = devices[0];
```

В данном примере показан алгоритм выбора GPU на вулкан. Сразу можно заметить, что код на Vulkan значительно больше и сложнее, так как выбор графического ядра в DirectX настраивается

через параметр в готовой функции, а в Vulkan поиск адаптеров необходимо настроить вручную. Разберем пример поподробнее

```
uint32_t deviceCount = 0;
vkEnumeratePhysicalDevices(instance, &deviceCount, nullptr);
```

Этот код получает значение, равное количеству доступных GPU

```
VkPhysicalDevice* devices = new VkPhysicalDevice[deviceCount];
vkEnumeratePhysicalDevices(instance, &deviceCount, devices);
```

Этот код присваивает каждому GPU собственный номер

```
VkPhysicalDevice selectedDevice = devices[0];
```

И наконец, в этих строчках указано, что мы будем использовать первое в списке GPU, то есть весь выше написанный код является аналогом одного единственного параметра.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

Инициализация и настройка:

В DirectX 11 многие операции (например, создание устройства и установка контекста) выполняются в рамках единичного вызова, тогда как Vulkan требует пошагового описания конфигурации (экземпляр, устройство, командные буферы и т.д.). Это делает начальную настройку Vulkan более многословной и сложной для понимания новичками.

Уровень абстракции:

DirectX предоставляет более высокий уровень абстракции, скрывая детали реализации и упрощая разработку стандартных задач. Vulkan, напротив, предоставляет разработчику полный контроль над ресурсами, что отражается в

большем объеме кода для решения аналогичных задач.

Гибкость, простота использования: Пример DirectX демонстрирует простой и понятный способ отрисовки треугольника, подходящий для быстрого прототипирования.

Vulkan же, несмотря на сложность, позволяет оптимизировать каждый аспект работы приложения, что критично для высокопроизводительных и графически насыщенных приложений.

Metal следует выбирать только если вы создаёте приложения эксклюзивно для macOS. Если приложение кроссплатформенное, то следует выбрать Vulkan.

Таким образом, выбор между DirectX и Vulkan сводится к приоритетам: если критична простота разработки и высокая скорость начала работы, предпочтительнее DirectX; если же требуется максимальный контроль над графическим конвейером и оптимизация под конкретное железо, стоит рассмотреть Vulkan, а Metal только для MacOS.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги проведенного исследования, можно сделать несколько ключевых выводов.

Во-первых, основная задача API – обеспечить стандартизированное взаимодействие между компонентами программного обеспечения, что позволяет разработчикам сосредоточиться на реализации бизнес-логики, не вникая в детали внутренней работы оборудования. В статье были рассмотрены различные виды API, включая аппаратные (например, DirectX, Vulkan, OpenGL) с акцентом на их специфику для работы с графикой.

Во-вторых, синтетические тесты, проведенные с использованием платформы Gravity Mark, показали, что для видеокарт AMD Vulkan демонстрирует преимущество в производительности: он на 10 % превосходит DirectX и на 32 % – OpenGL. Для видеокарт Nvidia разница менее выражена, составляет около 9 % в пользу Vulkan. Однако важно помнить, что синтетические тесты не всегда отражают реальную производительность в конечных приложениях, поскольку итоговая эффективность зависит от оптимизации конкретного программного продукта.

В-третьих, выбор между DirectX и Vulkan сводится к приоритетам разработчика:

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Sellers, G.** Vulkan Programming Guide: The Official Guide to Learning Vulkan / G. Sellers, J. Kessenich. – San Francisco: Addison-Wesley, 2016. – 500 p. – URL:

<https://vulkan.lunarg.com/doc/sdk/1.3.250.1/windows/guide.html><https://vulkan.lunarg.com/doc/sdk/1.3.250.1/windows/guide.html>. – Text : electronic (date of the application: 25.03.25).

2. **Microsoft Corporation.** DirectX 12 Ultimate Programming Guide / Microsoft Corporation. – Redmond: Microsoft Press, 2020. – URL: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/direct3d12/direct3d-12-graphics>. – Text : electronic (date of the application: 05.04.25).

DirectX обеспечивает более высокий уровень абстракции, что упрощает разработку и позволяет быстрее приступить к реализации проекта, особенно для платформ Windows и Xbox.

Vulkan предоставляет более низкоуровневый доступ к ресурсам видеокарты, что позволяет детально оптимизировать работу приложения и обеспечивает кроссплатформенность, но требует более глубоких знаний и более сложной настройки.

Таким образом, окончательный выбор API должен базироваться на конкретных требованиях проекта, целевой платформе и уровне подготовки разработчиков. Для получения более детальной информации и понимания нюансов работы с каждым из API рекомендуется обращаться к официальной документации.

В итоге, несмотря на сложности и особенности реализации, оба подхода имеют свои сильные стороны, что позволяет разработчикам выбирать оптимальное решение для достижения максимальной производительности и совместимости конечного продукта.

3. **Apple Inc.** Metal Programming Guide / Apple Inc. – Cupertino: Apple Developer Press, 2021. – URL: <https://developer.apple.com/metal/> – Text : electronic (date of the application: 05.04.25).

4. **Shreiner, D.** OpenGL Programming Guide (9th Edition) / D. Shreiner, B. Lipchak. – Boston: Addison-Wesley, 2013. – 880 p. – URL: https://www.opengl.org/documentation/red_book/ – Text : electronic (date of the application: 15.04.25).

5. **Treglia, S.** Performance Analysis of Vulkan vs. DirectX 12 vs. Metal / S. Treglia. – Text : electronic // Journal of Graphics Tools. – 2019. – Vol. 22, № 3. – P. 45–67. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/335678567>. (date of the application: 15.04.25).

6. **Khronos Group.** Vulkan vs. OpenGL: Technical Differences and Benefits / Khronos Group. – 2018. – 30 p. – URL: <https://www.khronos.org/assets/uploads/developers/library/2018-vulkan-devday-uk/03-Vulkan-OpenGL-Differences-Benefits.pdf>. – Text : electronic (date of the application: 15.04.25).

7. **NVIDIA Corporation.** Comparing DirectX 12, Vulkan, and Metal / NVIDIA Corporation. – 2021. – URL: <https://developer.nvidia.com/blog/comparing-directx12-vulkan-metal/> – Text : electronic (date of the application: 15.04.25).

8. **AMD GPUOpen.** Vulkan and DirectX 12 Optimization Guide / AMD GPUOpen. – 2022. – 120 p. – URL: <https://gpuopen.com/learn/vulkan-dx12-optimization/> – Text : electronic (date of the application: 18.04.25).

9. **Intel Corporation.** Graphics API Performance Guidelines / Intel Corporation. – 2023. – URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/developer/articles/technical/graphics-api-performance-guidelines.html>. – Text : electronic (date of the application: 18.04.25).

10. **Game Developers Conference (GDC).** Vulkan, DX12, Metal: What's Best for Your Game? / GDC. – 2022. – URL: <https://www.gdcvault.com/play/1025670/Vul>

[kan-DX12-Metal-What-s](#). – Text : electronic (date of the application: 15.04.25).

11. **Khronos Group.** Vulkan 1.3 Specification / Khronos Group. – 2022. – URL: <https://www.vulkan.org/spec>. – Text : electronic (date of the application: 15.04.25).

12. **Microsoft Corporation.** DirectX 12 Specification and Programming Guide / Microsoft Corporation. – 2023. – URL: <https://devblogs.microsoft.com/directx/>. – Text : electronic (date of the application: 18.04.25).

13. **Apple Inc.** Metal Shading Language Specification / Apple Inc. – 2023. – URL: <https://developer.apple.com/metal/Metal-Shading-Language-Specification.pdf>. – Text : electronic (date of the application: 20.04.25).

14. **ComputerBase.** DirectX 12 vs. Vulkan vs. Metal Performance Benchmark / ComputerBase. – 2022. – URL: <https://www.computerbase.de/2022-05/directx-12-vulkan-metal-benchmark/> – Text : electronic (date of the application: 20.04.25).

15. **Phoronix Media.** Vulkan vs. DirectX 12 vs. Metal Benchmark Comparison / Phoronix Media. – 2023. – URL: <https://www.phoronix.com/review/vulkan-dx12-metal-2023>. – Text : electronic (date of the application: 23.04.25).

Сведения об авторах:

Дуванов Евгений Сергеевич

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры
информатики,

Липецкий государственный технический
университет.

3988055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

evgenyduvanov@yandex.ru

Чуркин Дмитрий Александрович

студент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический
университет.

3988055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

curkindmitriy@gmail.com

Information about the authors:

Duванov Eugene Sergeevich

Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of
Computer Science

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

evgenyduvanov@yandex.ru

Churkin Dmitriy Alexandrovich

Student of the Department of Computer
Science,

Lipetsk State Technical University Lipetsk.

3988055, Lipetsk, Moskovskaya str., 30.

curkindmitriy@gmail.com

Е.С. ДУВАНОВ, Р.В. БАТИЩЕВ, М.Ю. ШИШОВ

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТРИЦЫ ЭЙЗЕНХАУЭРА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается подход к разработке планировщика задач, основанного на матрице Эйзенхауэра – методике управления временем, направленной на повышение эффективности. Разбирается структура матрицы и объясняется, каким образом она способствует расстановке приоритетов, а также минимизации стресса и повышению производительности рабочей деятельности. Программа предлагает функциональные возможности для управления задачами, позволяя создавать, изменять, удалять и отслеживать задачи, а также архивировать данные и вести учет выполненных действий, что способствует эффективной организации задач и распределению времени как в повседневной жизни, так и в профессиональной деятельности. В статье акцентируется важность данного подхода для успешного достижения долгосрочных целей и оптимизации текущих рабочих процессов.

Ключевые слова: матрица Эйзенхауэра, проектирование системы хранения данных, тайм-менеджмент, java

E.S. DUVANOV, R.V. BATISHCHEV, M.Y. SHISHOV

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF THE EISENHOWER MATRIX

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper considers an approach to developing a task scheduler based on the Eisenhower matrix, a time management technique aimed at improving efficiency. The matrix structure is analyzed and it is explained how it contributes to prioritization, as well as to minimizing stress and increasing work productivity. The program offers functionality for managing tasks, making it possible to create, edit, delete and track tasks, as well as archive data and keep records of completed actions, which contributes to the effective organization of tasks and time allocation both in daily life and in professional activities. The article highlights the importance of this approach for successfully achieving long-term goals and optimizing current work processes.

Keywords: information system, data structures, databases, algorithmization, time management.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлена разработка планировщика задач на основе матрицы Эйзенхауэра, используя фреймворк *Java FX*. Выбор *Java* для реализации программы объясняется её техническими возможностями, удобством разработки, кросс-платформенностью, поддержкой ООП, а также встроенными механизмами написания безопасного кода (иммутабельность, валидация данных).

Матрица Эйзенхауэра — это метод тайм-менеджмента, разработанный Дуайтом Эйзенхауэром, который помогает

расставить приоритеты и эффективно управлять временем [10–11]. Она делит задачи на четыре категории в зависимости от их важности и срочности. В последние годы данный подход активно применяется не только в личной продуктивности, но и в технических областях:

Структуризация данных. Матрица используется для организации информации в компьютерных системах, например, при проектировании [6] электронных библиотек, а также в сочетании с методами *Analytic Hierarchy Process (AHP)* для анализа сложных данных.

Биотехнические системы [4]. Метод внедряется в системы поддержки принятия решений, такие как управление процессами инкубации[12] в сельском хозяйстве, где требуется балансировка срочности и важности параметров.

Промышленные системы управления. Матрица применяется для оптимизации работы интеллектуальных систем, включая настройку нейросетевых прогнозирующих контроллеров в гидравлических и производственных процессах [7].

Разработка планировщика на *Java FX* актуальна, так как объединяет гибкость визуализации (четыре квадранта матрицы) с надежностью *Java*. Это позволяет создавать кроссплатформенные и безопасные решения для управления задачами в перечисленных областях.

ЦЕЛЬ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Разработка программного продукта на основе матрицы Эйзенхауэра направлена на решение проблемы неэффективного управления временем, с которой сталкиваются как частные пользователи, так и организации. Готовый продукт может быть использован в личной продуктивности, корпоративном управлении задачами, образовательных проектах и стартапах для приоритизации задач по важности и срочности. Основные сложности реализации связаны с созданием интуитивного интерфейса, интеграцией с внешними сервисами и обеспечением безопасности данных. Наше решение превосходит аналоги за счёт специализации на методологии Эйзенхауэра, гибкой настройки категорий, кроссплатформенности на базе *JavaFX*, а также встроенных инструментов аналитики, которые помогают пользователям избегать перегрузки и достигать долгосрочных целей.

СТРУКТУРА МАТРИЦЫ ЭЙЗЕНХАУЭРА

В своей книге Дэвид Аллен [10] предлагает использовать матрицу Эйзенхауэра как инструмент для классификации задач по их важности и срочности. Ваше программное обеспечение автоматизирует этот процесс, предоставляя пользователям возможность легко добавлять, редактировать и управлять задачами в соответствии с их категориями (важно/срочно). Это делает методологию более доступной и удобной для повседневного использования.

В книгах Дэвида Аллена, Брайна Трейси, Стивена Кови [10-11] также рассматривается, как правильно организовать рабочий процесс, чтобы фокусироваться на долгосрочных целях, не отвлекаясь на незначительные задачи. Разработанное программное обеспечение поддерживает эту идею, предоставляя функционал для планирования задач (например, «Важно и не срочно») и архивирования данных. Это помогает пользователям сосредоточиться на стратегических целях, а не только на оперативных задачах.

Матрица состоит из четырех квадратов, которые помогают организовать задачи по их важности и срочности:

«Важно и срочно» - обозначает задачи, которые нужно выполнить немедленно, так как они имеют серьезные последствия, если их не сделать. Примеры: экстренные рабочие задачи или кризисные ситуации.

«Важно и не срочно» - задачи важны для достижения долгосрочных целей, но их можно планировать на будущее. Их следует выполнять в отведенное время, чтобы избежать стресса позже.

«Неважно и срочно» - задачи, которые требуют быстрого выполнения, но не помогают достигать ваших целей. Это могут быть рутинные дела или просьбы от других людей.

«Неважно и не срочно» - эти задачи не влияют на ваши цели и могут быть отложены или исключены из расписания. Примеры: просмотр сериалов или случайные развлечения.

Матрица Эйзенхауэра является полезным инструментом для управления

временем как в личной жизни, так и в профессиональной деятельности.

	Срочное	Не срочное
Важное	Сделай прямо сейчас Написать статью на сегодня	Выбери время для выполнения Сходить в спортзал на тренировку
Неважное	Поручи кто сделает это вместо тебя? Забронировать билеты	Откажись выброси из головы Обновить ленту в социальной сети

Рис. 1. Матрица Эйзенхауэра

Планировщик задач (*Task Planner*) - это инструмент или приложение, которое помогает пользователям организовывать, планировать и управлять своими задачами и проектами. Программа предоставляет функциональность для создания, назначения, отслеживания и завершения задач, а также для управления временем и ресурсами, необходимыми для их выполнения.

Для реализации функций, связанных с хранением и получением данных пользователя, информации о задачах пользователя необходимо создать базу данных. В процессе реализации базы данных будет создано несколько таблиц.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ

В основе программы на Java использованы ключевые концепции объектно-ориентированного программирования (ООП), такие как инкапсуляция, наследование и полиморфизм, описанные в работах Кормена [5] и зарубежных авторов [7-9]. Классы *User*, *Task*, *DataConnection* инкапсулируют данные и методы, обеспечивая целостность и безопасность (например, пароли хранятся отдельно от логики). Наследование применяется в контроллерах *JavaFX* (например, *HelloController*, *EditTaskController*), где

общая логика взаимодействия с БД вынесена в базовые классы. Полиморфизм реализуется через интерфейсы для обработки событий (например, добавление/удаление задач). Паттерны проектирования, такие как *MVC* (*Model-View-Controller*), разделены на слои: *JavaFX* - интерфейсы (*View*), контроллеры (*Controller*) и классы данных (*Model*), что соответствует рекомендациям Гамма [7].

Основные функциональные возможности программы:

Управление задачами: создание, редактирование, удаление, просмотр и архивирование задач.

Управление пользователями: добавление, редактирование и удаление пользователей, а также возможность архивировать их данные.

Отслеживание действий: программа сохраняет историю действий пользователей (например, время входа).

Категоризация задач: задачи делятся на категории в соответствии с матрицей Эйзенхауэра.

Хранение данных: вся информация о задачах, пользователях и действиях хранится в базе данных SQLite.

Программа имеет графический интерфейс, реализованный с использованием фреймворка *JavaFX*, и состоит из нескольких окон для выполнения различных операций

(например, добавление задачи, управление пользователями, просмотр задач).

База данных программы организована для хранения информации о пользователях, задачах, действиях и архивах. Ниже приведено описание всех используемых таблиц.

User - хранит информацию о пользователях: уникальный идентификатор (*Id_user*), имя (*User_name*) и пароль (*User_password*).

Task - содержит данные о задачах: уникальный идентификатор (*Task_id*), название (*Name*), описание (*Description*), дата окончания (*Date_of_the_end*), время выполнения (*Time_of_ex*) и категория (*category*).

Users_tasks - связывает пользователей с задачами через

идентификаторы: *Id_user* (идентификатор пользователя) и *Id_task* (идентификатор задачи).

Completed_tasks - хранит информацию о завершенных задачах, связывая *Id_user* (пользователь) и *Id_task* (задача).

User_logs - логирует действия пользователей: *Id_user* (идентификатор пользователя), *User_name* (имя пользователя) и *Time_of_login* (время входа).

User_archives - хранит данные об архивированных пользователях: *Id_user* (уникальный идентификатор), *User_name* (имя пользователя) и *Time_of_archiving* (время архивирования).

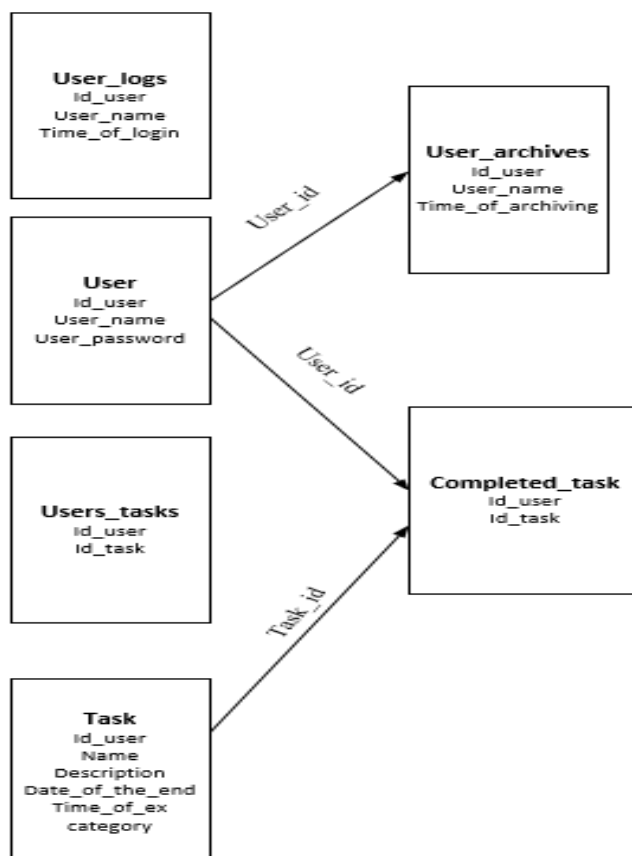


Рис. 2. Структура базы данных программного комплекса «матрица Эйзенхауэра» и описания связей между таблицами

Программный комплекс «матрица Эйзенхауэра» в своей основе имеет несколько *java*-классов, каждый *java*-класс выполняет свою определенную функцию в работе всего приложения. Далее будут перечисленные некоторые из них:

1) «*Main_window_matrix_controller*» - класс задача которого обрабатывать события главного окна приложения;

2) «*Show_cases_controller*» - задача данного класса отображать данных о текущих задачах в специализированном окне «*show_cases*», также в его задачу

входит обработка событий, происходящих с объектами окна «*show_cases*» (удаление, добавление, редактирование задач).

3) «*Add_client_controller*» – реализует функционал приёма и обработки запросов на добавление новых пользователей. Это позволяет автоматически отправлять напоминания, синхронизировать задачи на разных устройствах и повышает удобство для пользователя.

В JSON-сообщении передаётся основная информация о задаче: *user_id* (уникальный идентификатор пользователя), *task_id* (уникальный идентификатор задачи), категория задачи, время её выполнения и временная метка отправки уведомления.

4) «*Client_controller*» – класс, содержащий функционал для работы с данными существующих пользователей, работает в связке с «*Add_Task_controller*» и окном «*User management*».

5) «*Data_connection_controller*» – функционал данного класса позволяет приложению взаимодействовать с *API* (оно применяется для создания уведомлений) и базой данных.

ОПИСАНИЕ РАБОТЫ ОКОН И РАБОТЫ УВЕДОМЛЕНИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ

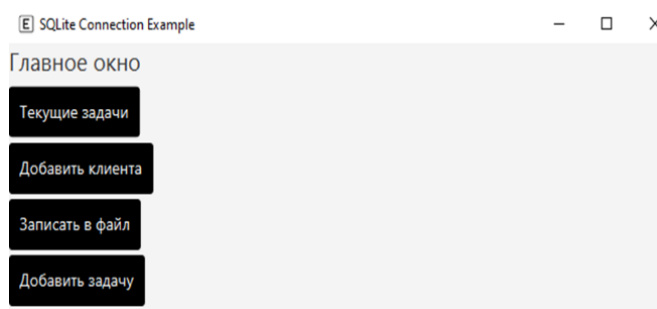


Рис. 3. Главное окно вывода основных операций приложения «матрица Эйзенхауэра»

Главное окно приложения «матрица Эйзенхауэра» предоставляет доступ к основным операциям, совершаемым в ходе работы приложения, таким как:

- 1) «Текущие задачи»,
- 2) «Добавить клиента»,
- 3) «Записать задачу» (имеется ввиду записать текущие задачи в файл для сохранения на носителе информации),
- 4) «Добавить задачу».

Важно уточнить, что «клиент» в данном приложении является субъектом, чья информация (включая информацию о его задачах) может обрабатываться в приложении. Клиентом не обязательно может быть пользователь, так как пользователь программы может работать с задачами другого человека.

Рис. 4. Окно ввода данных задачи в приложении «матрица Эйзенхауэра»

В окне «Добавить задачу» пользователь вводит информацию о задаче, а именно её название, описание, дату

окончания и так далее. После нажатия кнопки *сохранить данные о задаче* будет добавлена в текущие задачи клиента.

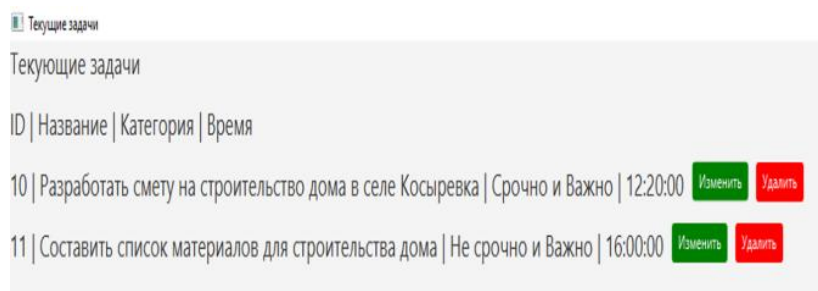


Рис. 5. Окно вывода текущих задач в приложении «матрица Эйзенхауэра»

В данном окне выводятся текущие задачи клиентов, можно увидеть их id, название задачи, категория задачи в соответствии с матрицей Эйзенхауэра, время к которому должна быть выполнена задача. Имеется возможность изменить детали задачи или удалить ее по усмотрению пользователя программы.

В проограмме имеется функционал для реализации уведомлений. Функционал разарботан в виде приложения, работающего на удаленном компьютере, данная отдельная часть приложения периодически проверяет таблицу Task на наличие приближающихся дедлайнов (*date_of_the_end*, *time_of_ex*). При обнаружении задачи с категорией «Важно и срочно» или приближающимся сроком формируется JSON-сообщение,

содержащее ID задачи, заголовок и описание. Уведомление отправляется через *Firebase Cloud Messaging (FCM)* или аналогичный сервис, используя токены устройств пользователей из таблицы *User*. Клиентское приложение (*JavaFX*) через фоновый поток (*ScheduledExecutorService*) подключается к серверу, получает уведомления и отображает их через *Notification*-классы. Для обработки ошибок и повторных попыток отправки реализуется механизм очередей (*RabbitMQ*) или логирование в *User_logs*. Это позволяет автоматически отправлять напоминания, синхронизировать задачи на разных устройствах и повысить удобство для пользователя. В JSON-сообщении передаётся основная информация о задаче: *user_id* (уникальный идентификатор пользователя), *task_id* (уникальный идентификатор задачи), категория задачи, время её выполнения и временная метка отправки уведомления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была подготовлена программная реализация планировщика задач на основе матрицы Эйзенхауэра с использованием *JavaFX* для повышения эффективности управления временем и задачами как в личной жизни, так и в профессиональной деятельности через классификацию задач по четырем категориям важности и срочности, что дает возможность пользователям расставлять приоритеты, избегать стресса, достигать долгосрочных целей и оптимизировать рабочие процессы благодаря функционалу программы, включающему добавление, редактирование удаление задач, просмотр их истории, архивирование данных и управление пользователями через базу данных *SQLite*. Программа предоставляет интуитивно понятный графический интерфейс, что делает взаимодействие с системой удобным для пользователей любого уровня подготовки а использование базы данных *SQLite* обеспечивает надежное хранение информации о задачах и пользователях. Разработанная система поддерживает функционал архивирования, что позволяет сохранять историю выполненных задач и действий пользователей для последующего анализа и отчетности. Дополнительно реализован механизм управления пользователями, обеспечивающий безопасность данных и возможность работы нескольких пользователей в рамках одной системы. Основными достоинства разработанного программного комплекса являются:

1) Практическая реализация методологии тайм-менеджмента: программа предоставляет удобный

инструмент для применения матрицы Эйзенхауэра, помогая пользователям эффективно расставлять приоритеты и управлять временем как в личной жизни, так и в профессиональной деятельности.

2) Интуитивно понятный интерфейс: программа отличается простым и наглядным дизайном — цветовая маркировка квадрантов, быстрый ввод задач и поддержка переноса элементов между секциями обеспечивают мгновенное понимание структуры и лёгкую навигацию по списку дел.

3) Методы, обеспечивающие безопасность данных: Программа поддерживает функционал управления пользователями через базу данных *SQLite*, обеспечивая безопасное хранение данных, включая пароли, которые сохраняются в зашифрованном виде с использованием

современных криптографических методов. Для защиты учетных данных применяется хеширование паролей с использованием алгоритмов, таких как *SHA-256*, что исключает возможность восстановления исходного пароля даже при несанкционированном доступе к базе данных. Кроме того, для дополнительной безопасности используется «соль» (*salt*) — уникальная случайная строка, добавляемая к каждому паролю перед его хешированием, что предотвращает атаки по словарю и радужным таблицам. Таким образом, все пользовательские данные, особенно чувствительные, такие как пароли, хранятся в защищенном формате, гарантируя конфиденциальность и безопасность информации даже в случае компрометации системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хорстманн, К.С. Java. Библиотека профессионала / К.С. Хорстманн ; пер. с англ. — Москва : Вильямс, 2019. — 864 с. — Текст : непосредственный

2. Эккель, Б. Философия Java / Б. Эккель; пер. с англ. А.В. Киселева. — 4-е изд. — Санкт-Петербург : Питер, 2023. — 1168 с. — Текст : непосредственный.

3. Блох, Дж. Эффективное программирование / Дж. Блох ; пер. с англ. В.В. Коваленко. — 2-е изд. — Москва : Вильямс, 2018. — 432 с. — Текст : непосредственный.

4. Зинченко, Л. Бионические информационные системы и их практические применения / Л. Зинченко, В.Г. Редько, В.М. Курейчик. — Текст : непосредственный. — Москва : Издательская фирма "Физико-математическая литература", 2011. — 288 с.

5. Кормен, Т. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест // Москва : МЦНМО, 2020. — 1312 с. — Текст : непосредственный.

6. Кнут, Д. Искусство программирования. Т. 1-4 / Д. Кнут; пер. с англ. С.В. Канцелявича. — Москва : Вильямс, 2016. — 848 с. — Текст : непосредственный.

7. Яковлев, А.В. Управление производством: планирование и диспетчеризация / А.В. Яковлев. — 2-е изд. — Москва : 1С, 2023. — 219 с. — Текст : непосредственный.

8. Рамбо, Д. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. Основы / Д. Рамбо. — Санкт-Петербург : Питер, 2005. — 545 с. — Текст : непосредственный.

9. Лафоре, Р. Объектно-ориентированное конструирование программных систем / Р. Лафоре. — Москва : Лаборатория знаний, 2022. — 924 с. — Текст : непосредственный.

10. Аллен, Д. Как привести дела в порядок / Д. Аллен ; пер. с англ. Е.В. Петровой. — Москва : Манн, Иванов и Фербер, 2016. — 352 с. — Текст : непосредственный.

11. Трейси, Б. Съешьте лягушку! / Б. Трейси ; пер. с англ. О.В. Суворовой. — Москва : Попурри, 2017. — 192 с. — Текст : непосредственный.

12. Дуванов, Е.С. Проектирование компьютерной системы электронной библиотеки кафедры информатики / Е.С. Дуванов, И.А. Седых, М.Ю. Шишов.

– Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 3 (52). – С. 5–12.

13. **Дуванов, Е.С.** Особенности управления процессом инкубации / Е.С. Дуванов, Ю.И. Кудинов, Ф.Ф. Панченко. – Текст : непосредственный // Информатика и системы управления. – 2023. – Т. 4, № 78. – С. 18–29.

14. Analysis of the Technological Process of Egg Incubation and Formulation of the Control Problem / E.S. Duvanov, Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, V.S. Duvanov. – Text : immediate // In 2021 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA 2021). – 2021. – IEEE, 2021. – С. 769–773.

Сведения об авторах:

Дуванов Евгений Сергеевич

кандидат технических наук,
старший преподаватель кафедры информатики,
Липецкий государственный технический университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Батищев Роман Вячеславович

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой информатики,
Липецкий государственный технический университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 3

Шишов Михаил Юрьевич

студент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

15. Application of predictive neural network controllers in hydraulic control object / E.S. Duvanov, R.V. Batischev, A.F. Pashchenko [et al.]. – Text : immediate // Proceedings of the IV International Conference on Technology Enhanced Learning in Higher Education (TELE 2024). – 2024. – Lipetsk : – IEEE, 2024. – С. 422–427.

16. Designing a neural network predictive controller in MATLAB Simulink / E.S. Duvanov, A.F. Pashchenko, R.V. Batischev [et al.]. – Text : immediate // In 2023 5th International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA 2023). – November 2023. Lipetsk. – IEEE, 2023. – С. 669–671.

Information about the authors:

Duvanov Eugene Sergeevich

Candidate of Technical Sciences,
Senior Lecturer of the Department of
Computer Science,
Lipetsk State Technical University Lipetsk.
398055, Lipetsk, Moskovskaya str., 30.
evgenyduvanov@yandex.ru

Batishchev Roman Vyacheslavovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor, Head of the Department
of Computer Science,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
gav_1989@bk.ru

Shishov Mikhail Yuryevich

Student of the Department of Computer
Science Lipetsk State Technical University
Lipetsk.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya str., 30.
mikhailshishov@hisgrace.ru

DOI 10.53015/30343275_2025_2_59
УДК 656.017

А.В. ГРИНЧЕНКО, Н.В. БАХТИНА, П.А. САКС

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБСЛУЖИВАНИЯ
ПАССАЖИРОВ НА АВТОВОКЗАЛЕ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается имитационное моделирование в качестве подхода к решению задач в сфере обеспечения безопасности объектов транспортной инфраструктуры. Предложен алгоритм создания имитационной модели поведения пассажиров в процессе функционирования автовокзала. Акцент сделан на проведение досмотровых мероприятий при входе в здание автовокзала, осуществление покупки билетов, на ожидание прибытия автобусов и выход из здания на перроны отправления автобусов. Имитационное моделирование выполнено применительно к реальным условиям функционирования автовокзала. Проанализированы результаты проведенного на модели эксперимента и предложены мероприятия по обеспечению повышенного уровня безопасности и качества обслуживания пассажиров на автовокзале. Получено обоснование эффективности предложенных мероприятий по результатам эксперимента с новыми параметрами. Предлагаемый подход возможно использовать в практике организаций, занимающихся оценкой и повышением уровня защищенности объектов транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: транспортная безопасность, имитационное моделирование, Anylogic.

A.V. GRINCHENKO, N.V. BAKHTINA, P.A. SACHS

**SIMULATION MODELING OF THE PASSENGER SERVICE PROCESS
AT THE BUS STATION**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article considers simulation modeling as an approach to solving problems in the field of ensuring the safety of transport infrastructure facilities. An algorithm for creating an imitation model of passenger behavior during the operation of a bus station is proposed. Emphasis is placed on conducting inspection activities at the entrance to the bus station building, buying tickets, waiting for buses to arrive and exiting the building to the bus departure platforms. The simulation was performed in relation to real operating conditions of the bus station. The results of the experiment conducted on the model are analyzed and measures are proposed to ensure an increased level of safety and quality of passenger service at the bus station. The justification of the effectiveness of the proposed measures based on the results of an experiment with new parameters was obtained. The proposed approach can be used by organizations involved in assessing and improving the security of transport infrastructure facilities.

Keywords: transport safety, simulation modeling, Anylogic

В настоящее время вопросам обеспечения безопасности мест большого скопления людей, в частности объектам транспортной инфраструктуры, уделяется повышенное внимание [1–4]. Несмотря на достаточно высокий уровень развития науки и техники, человечество ещё не способно в полной мере противостоять всем природным и техногенным катастрофам, а также террористическим угрозам и противоправным действиям третьих лиц. В результате этого ежегодно умирает, получает травмы различной степени тяжести значительное число людей. Методы имитационного моделирования можно применять для воспроизведения процессов, связанных с обеспечением транспортной безопасности, а также дальнейшей их оценки и прогнозирования [5–6].

В статье представлены основные этапы создания имитационной модели процесса обслуживания пассажиров на автовокзале. Возможности применения имитационного моделирования в решении различных вопросов на объектах автотранспортного комплекса и предпосылки создания модели изложены в работах [7–16]. На основе проведенных экспериментов предложено решение по повышению эффективности

обслуживания пассажиров с точки зрения безопасности.

Обслуживание пассажиров начинается с их входного контроля с багажом с использованием рамок металлодетектора на входе в автовокзал. Затем одна часть пассажиров движется к кассам для приобретения проездного билета. После покупки билета перемещается в зону ожидания своего рейса. Другая часть пассажиров, купившая билет заранее, сразу перемещается в зону ожидания своего рейса. Из зоны ожидания пассажиры через турникеты перемещаются к перрону пригородных или междугородних рейсов. Некоторая часть людей, провожающих пассажиров, выходит из автовокзала в город.

При создании имитационной модели вначале обычно добавляется рисунок - план моделируемого пространства (помещения, здания). Или сразу рисуются стены (с помощью специальных элементов разметки пространства AnyLogic), и затем создается диаграмма процесса: как пассажиры перемещаются внутри здания. План автовокзала с объектами моделируемой среды представлен на рис. 1.

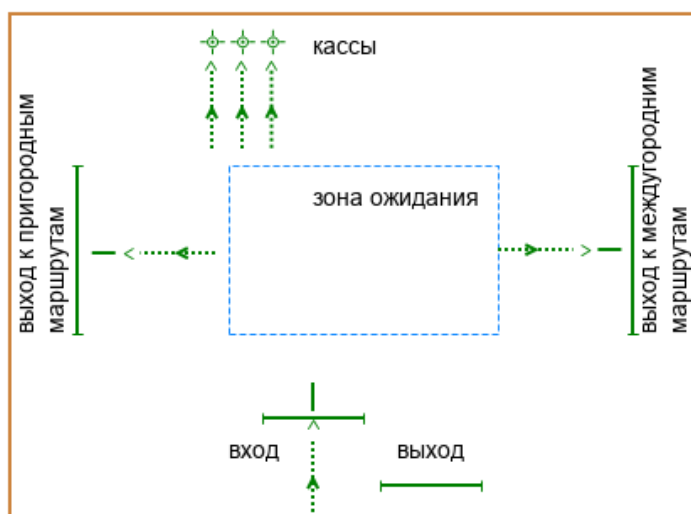


Рис. 1. План автовокзала в графическом редакторе программы AnyLogic

Диаграмма моделируемого процесса в AnyLogic создается путем добавления объектов библиотеки из палитры на диаграмму, соединения их портов и изменения значений свойств объектов в

соответствии с требованиями модели. Созданная диаграмма представлена на рис. 2.

На рис. 2 блок «PedSource» («входАвтовокзал») создает пассажиров.

Пассажиры прибывают на автовокзал согласно заданному расписанию интенсивностей прибытия. Блоком «PedService» («контрольВход») моделируется досмотр пассажиров и их багажа на входном контроле. Блок «PedSelectOutput» («выборПути») направляет входящих в объект пассажиров на один из двух выходных портов согласно заданным процентным долям:

- 1) поток к кассам для приобретения билета – 0,65;
- 2) поток в зону ожидания – 0,35.

Блок «PedService» («покупкаБилета») моделирует, как пассажиры

обслуживаются в кассах автовокзала. Блок «PedWait» («зонаОжидания») заставляет пассажиров перейти в заданное место и ожидать там в течение определенного периода времени. Место задано прямоугольной областью (рис. 1). Блок «PedSelectOutput» («выборПути1») разбивает поток пассажиров на новые потоки согласно заданным процентным долям:

- 1) поток к перрону междугородних рейсов автобусов – 0,4;
- 2) поток к перрону пригородных рейсов автобусов – 0,5;
- 3) поток к выходу из автовокзала – 0,1.

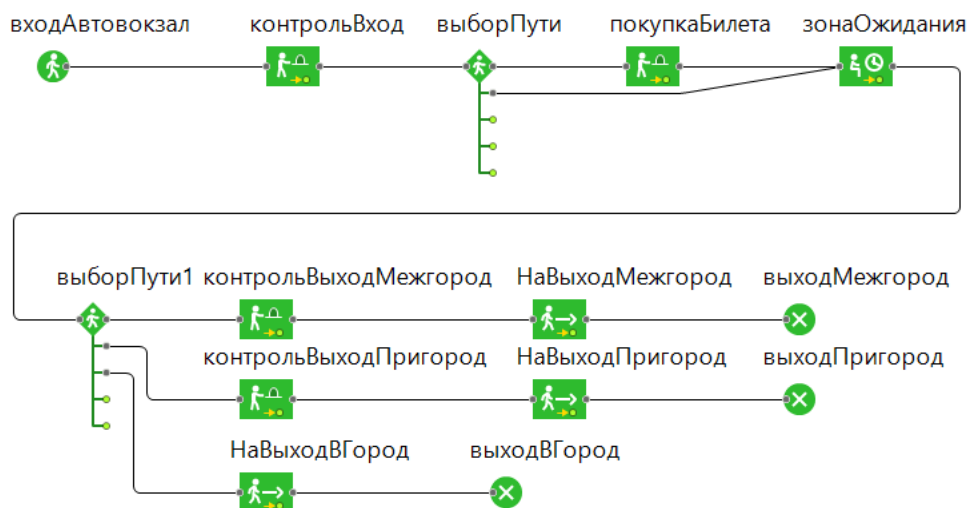


Рис. 2. Диаграмма процесса, моделирующая поведение пассажиров на автовокзале

Блоки «PedService» («контрольВыходМежгород» и «контрольВыходПригород») моделируют проверку проездных билетов на турникетах, находящихся перед выходом на перрон соответственно междугородних и пригородных рейсов автобусов. Блоки «PedGoTo» («НаВыходМежгород», «НаВыходПригород» и «НаВыходВГород») заставляют пассажиров перейти в заданное место моделируемого пространства. Движение закончится, когда пассажир пересечет заданную целевую линию, либо достигнет заданной точки или области. На рис. 1 эти места заданы целевыми линиями, обозначающими выход на соответствующий перрон прибытия

автобусов или выход в город. Блоки «PedSink» («выходМежгород», «выходПригород» и «выходВГород») удаляют поступивших в объект пассажиров из моделируемой среды.

Anylogic позволяет получить статистические данные для пассажиропотока на территории автовокзала. Информативным инструментом в моделировании перемещения пассажиров является карта плотности пассажиров. Карта плотности используется для обнаружения участков пространства, на которых значение плотности достигает критических значений. Такие области отображаются на карте плотности красным цветом. По умолчанию значение критической

плотности задано равным 1,5 пассажиров/м². В результате эта зона будет отображаться красным цветом. Синий цвет используется для участков низкой плотности. При нулевой плотности закрашивание соответствующего участка не производится вообще. Желтый цвет на карте плотности будет соответствовать плотности 0,75 пассажиров/м².

На рис. 3 и 4 представлены результаты моделирования обслуживания пассажиров на автовокзале в базовом варианте, с одной рамкой-металлодетектором на входном контроле. Результаты моделирования представлены по итогам одного дня с 06:00 до 20:00.

Анализ результатов моделирования показывает, что за моделируемое время автовокзал посетили 1 463 человека. Общее время, затраченное пассажирами в

очереди перед входным контролем, составило 366 минут (6,1 ч). Среднее время, затраченное одним пассажиром в очереди перед входным контролем, составило 15,0 с.

На рис. 4 представлены результаты моделирования количества пассажиров в очереди на входном контроле в базовом варианте. Анализ результатов показывает, что наибольшей длины очередь достигает в утренние (с 7 до 8 часов) и вечерние (с 17 до 18 часов) часы пик. В утренние часы пик максимальная длина очереди достигает 6 человек, в вечерние часы пик – 8 человек.

Для уменьшения очереди пассажиров перед входным контролем и сокращения времени, затраченного ими в очереди, предложено добавить еще одну рамку-металлодетектор на посту входного контроля.

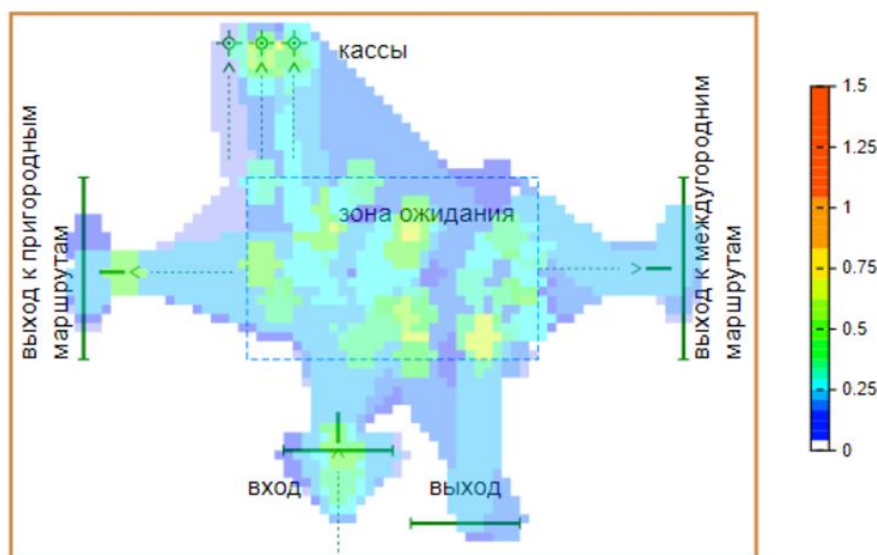


Рис. 3. Результаты моделирования обслуживания пассажиров на автовокзале

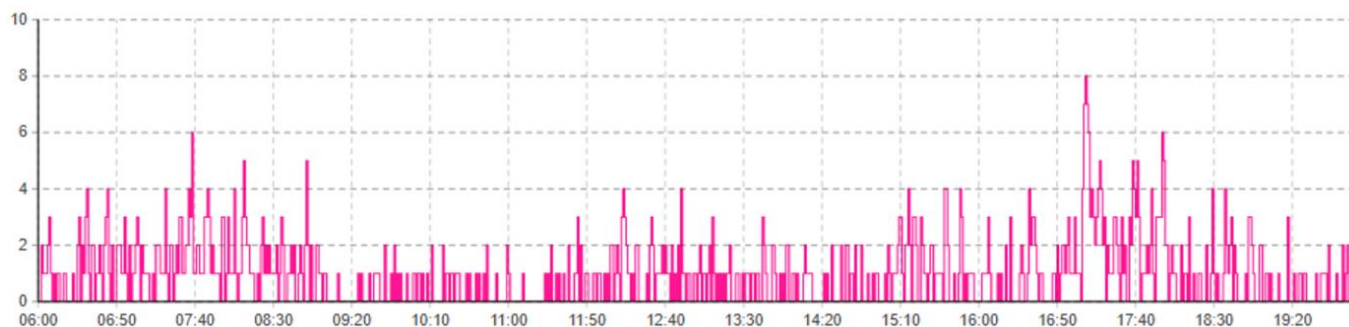


Рис. 4. Количество пассажиров в очереди на входном контроле (базовый вариант)

На рис. 5 представлены результаты моделирования обслуживания пассажиров на автовокзале в новом

варианте, с двумя рамками-металлодетекторами на входном контроле.

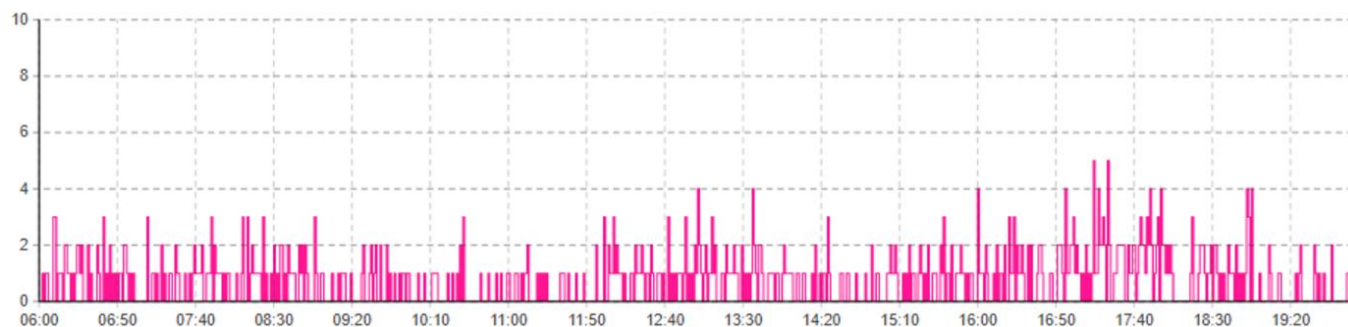


Рис. 5. Количество пассажиров в очереди на входном контроле (новый вариант)

Анализ результатов моделирования в новом варианте показывает, что общее время, затраченное пассажирами в очереди перед входным контролем, составило 173 минуты (2,9 ч), что на 53,0 % меньше, чем в базовом варианте. Среднее время, затраченное одним пассажиром в очереди перед входным контролем, составило 7,0 с. Кроме того, что в утренние часы пик максимальная длина очереди сократилась с 6 до 3 человек, в вечерние часы пик — с 8 до 5 человек.

Таким образом, использование двух рамок-металлодетекторов на входном контроле в часы пик на автовокзале позволит сократить очередь из пассажиров, уменьшить затрачиваемое на входной контроль время и повысить качество контроля на входе в автовокзал. Тем самым повысится эффективность обеспечения безопасности на автовокзале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Козлюк, В.В.** Технологические решения обеспечения транспортной безопасности на объектах железнодорожной инфраструктуры / В.В. Козлюк. — Текст : непосредственный // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2023. — № 2 (63). — С. 111–115.
2. **Корякин, В.М.** Противодействие диверсионной деятельности на объектах транспортной инфраструктуры как составная часть обеспечения транспортной безопасности / В.М. Корякин. — Текст : непосредственный // Транспортное право и безопасность. — 2023. — № 2 (46). — С. 39–48.
3. **Родичкин, С.В.** Вопросы обеспечения безопасности на объектах транспортной инфраструктуры / С.В. Родичкин. — Текст : непосредственный // Образование и право. — 2024. — № 9. — С. 84–89.

4. **Чеботарева, А.А.** Организационно-правовые направления совершенствования системы обеспечения антитеррористической защищенности объектов транспорта: приоритет современных информационных технологий / А.А. Чеботарева, С.И. Леонов. — Текст : непосредственный // Транспортное право. — 2024. — № 1. — С. 11–14.
5. Имитационная модель оценки безопасности водного транспорта / В.Ю. Каминский, Д.А. Скороходов, А.Л. Стариченков [и др.]. — Текст : непосредственный // Морские интеллектуальные технологии. — 2021. — № 4–1 (54). — С. 20–27.
6. **Юдаев, В.В.** Моделирование процесса вероятной реализации акта незаконного вмешательства в аэропорту и его нейтрализации / В.В. Юдаев, А.А. Гладких, Т.Г. Уласюк. — Текст : непосредственный // Научный вестник ГосНИИ ГА. — 2023. — № 42. — С. 118–125.

7. **Бужин, В.А.** Имитационная модель потока требований на техническое обслуживание автомобилей / В.А. Бужин. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2018. – № 5. – С. 194–197.

8. **Гринченко, А.В.** Имитационное моделирование обслуживания автомобилей в автосервисе / А.В. Гринченко, Е.К. Погодина. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2021. – № 3 (46). – С. 60–73.

9. **Гринченко, А.В.** Имитационное моделирование пассажирских перевозок во внутриобластном сообщении / А.В. Гринченко, Е.К. Погодина. – Текст : непосредственный // Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте: материалы международной научно-практической конференции. – Липецк : Липецкий государственный технический университет. – 2022. – С. 133–140.

10. **Гринченко, А.В.** Об имитационном моделировании мультимодальных пассажирских транспортных систем / А.В. Гринченко. – Текст : непосредственный // Транспорт России: проблемы и перспективы–2024 : сборник международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург : Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко, 2024. – С. 140–144.

11. **Гринченко, А.В.** Оптимизация расписания движения городских автобусов методами имитационного моделирования / А.В. Гринченко, Е. Скворцов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического

университета. – 2022. – № 2 (48). – С. 18–26.

12. **Гринченко, А.В.** Разработка имитационной модели технической эксплуатации автобусов пассажирского предприятия в Anylogic / А.В. Гринченко, Е. Скворцов. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2023. – № 3 (52). – С. 50–58.

13. **Гринченко, А.В.** Разработка модели обслуживания автомобилей на автозаправочной станции города Липецка в среде Anylogic / А.В. Гринченко, А.А. Коростелев. – Текст : непосредственный // Мир транспорта и технологических машин. – 2021. – № 1 (72). – С. 111–116.

14. **Гринченко, А.В.** Моделирование городского автобусного маршрута в Anylogic / А.В. Гринченко, Т.Р. Антонова. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2019. – № 2 (40). – С. 58–64.

15. **Евреенова, Н.Ю.** Организация пассажиропотоков на объектах транспортной инфраструктуры / Н.Ю. Евреенова. – Текст : непосредственный // Вопросы устойчивого развития общества. – 2021. – № 12. – С. 781–789.

16. **Севостьянов, А.Л.** Имитационное моделирование при создании цифрового двойника объекта транспортной инфраструктуры / А.Л. Севостьянов. – Текст : непосредственный // Интеллектуальные системы в аграрном и строительном комплексе : сборник трудов конференции, Орел. – 2022. – С. 252–260.

Сведения об авторах:

Гринченко Александр Викторович
кандидат технических наук, доцент
кафедры управления автотранспортом,
Липецкий государственный
технический университет,
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, 30.
grinchav@mail.ru,
grinchenko_av@stu.lipetsk.ru

Information about the authors:

Grinchenko Alexander Viktorovich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Motor Vehicle Management,
Lipetsk State Technical University,
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya St., 30.
grinchav@mail.ru,
grinchenko_av@stu.lipetsk.ru

Бахтина Наталья Викторовна

инженер 1 категории кафедры
управления автотранспортом,
Липецкий государственный
технический университет,
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, 30.

kafedrauat@mail.ru

Сакс Полина Андреевна

студент кафедры управления
автотранспортом,
Липецкий государственный
технический университет,
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, 30.

Bakhtina Natalia Viktorovna

Engineer of the 1st category, Department
of Motor Vehicle Management,
Lipetsk State Technical University,
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya St., 30.

kafedrauat@mail.ru

Sachs Polina Andreevna

Student of the Department of Motor
Vehicle Management,
Lipetsk State Technical University,
398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya St., 30.

DOI 10.53015/30343275_2025_2_66
УДК 669.162

В.Н. ТИТОВ, И.В. КУПРИЯНОВА, Т.В. КРАВЧЕНКО

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЫПЛАВКИ ФЕРРОМАРГАНЦА
В ДОМЕННЫХ ПЕЧАХ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье приведены результаты оценки влияния отдельных технологических параметров на показатели плавки ферромарганца в доменных печах. Отмечено, что на производительность оказывает влияние количество кислорода, поступающего с дутьем. На удельный расход кокса наиболее существенно влияет расход сырой марганцевой руды и содержание марганца в чугуна. Степень усвоения марганца зависит от параметров шлакового режима (основность шлака и его количество).

Ключевые слова: ферромарганец, расход кокса, производительность, основность шлака.

V.N. TITOV, I.V. KUPRIYANOVA, T.V. KRAVCHENKO

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FERROMANGANESE SMELTING
IN BLAST FURNACES**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The results of assessing the influence of certain technological parameters on the performance of ferromanganese smelting in blast furnaces are presented. It is noted that productivity is affected by the amount of oxygen supplied with the blast. Specific coke consumption is most significantly affected by the consumption of raw manganese ore and the manganese content in hot metal. The degree of manganese assimilation depends on the parameters of the slag regime (basicity and quantity of slag).

Keywords: ferromanganese, coke consumption, productivity, slag basicity.

ВВЕДЕНИЕ

Основной объем марганцевых руд расходуется на производство ферромарганца, который используется в качестве раскислителя и легирующей добавки при выплавке разных сортов стали. Выплавку ферромарганца производят и в доменных, и в электропечах.

На территории России этот элемент относится к дефицитным и дорогостоящим, также его применение в черной металлургии осложняется существенными потерями до 25 % [1] в процессе производства.

Практика работы доменных печей, выплавляющих FeMn [2-9] показывает, что основным используемым сырьем являются марганцевая руда, марганцевый агломерат, марганцевые окатыши с содержанием марганца 40-45 %.

Основными технологическими особенностями выплавки FeMn в доменной печи являются:

- максимально высокий нагрев горна, достигаемый повышенным расходом кокса (до 2 000 кг/т чугуна), высокой температурой дутья (до 1 200 °С) и

обогащением дутья кислородом (до 28 %) без использования природного газа.

- повышение основности шлака до $\text{CaO/SiO}_2 = 1,28\text{--}1,35$ при содержании оксида магния в шлаке –10 %;
- высокая температура колошниковых газов (400–500 °С);
- высокий приход щелочей (45–50 кг/т).

Как показывает анализ источников [10–12] эффективность выплавки ферромарганца в доменной печи во многом обусловлена шлаковым режимом, параметрами дутьевого режима и комбинированного дутья, а также организационными факторами (график выпусков, вид сырья и т.д.).

В рамках поставленной задачи были проанализированы параметры работы доменных печей, выплавляющих ферромарганец. Для анализа использовались данные о работе доменных

печей полезным объемом 1000 м³, выплавляющих ферромарганец, представленные в работе [13]. При этом достигались следующие показатели: производительность – 450–530 т/сут; расход кокса – 1 600–2 000 кг/т; расход марганец содержащей шихты – 2 500–3 000 кг/т; расход флюсов (известняк + доломит) – 750–950 кг/т; выход шлака – 950–1 150 кг/т.

Оценивали влияние следующих элементов технологии:

- параметры дутьевого режима – влияние на производительность;
- параметры шлакового режима – влияние на степень удаления марганца;
- параметры шихты и теплового режима – влияние на расход кокса.

ВЛИЯНИЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

На рис. 1 представлено влияние давления под колошником на производительность печи.

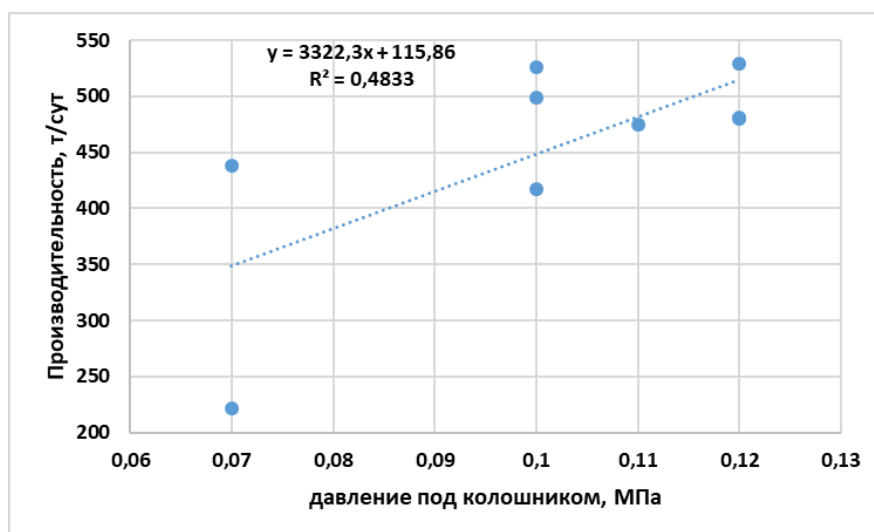


Рис. 1. Влияние давления под колошником на производительность доменной печи

Как видно из полученного результата оценки рост давления под колошником способствует повышению производительности доменной печи. Основной причиной данного характера влияния является то, что с ростом давления под

колошником происходит увеличение расхода дутья и, соответственно, количество подаваемого кислорода (рис. 2, 3).

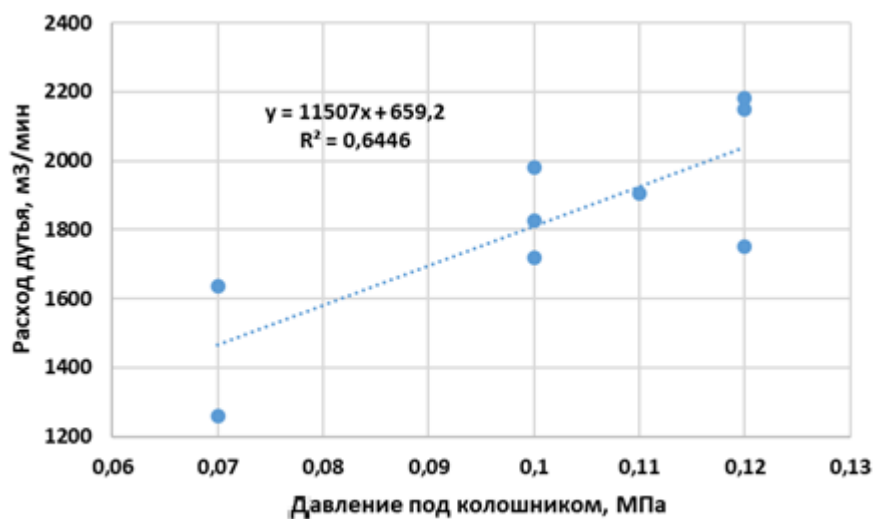


Рис. 2. Связь давления под колошником с расходом дутья

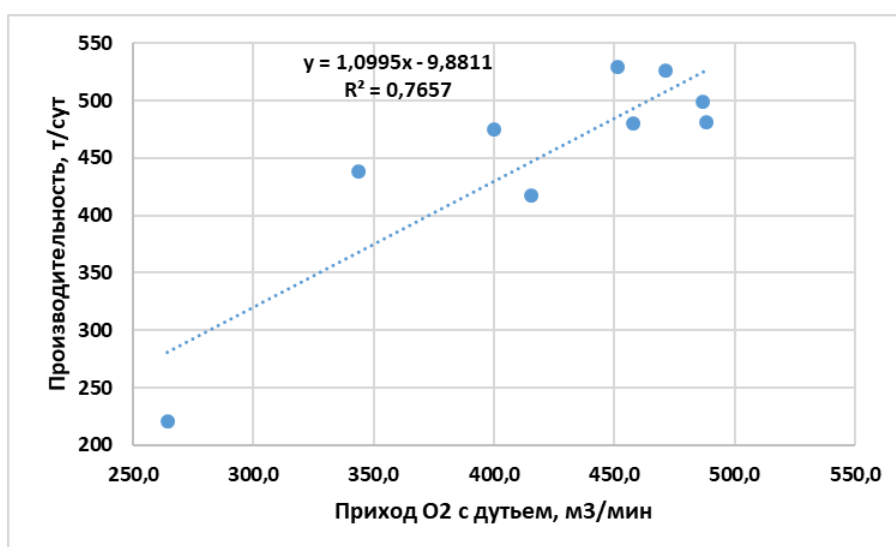


Рис. 3. Связь производительности с количеством подаваемого кислорода

В целом можно отметить, что повышение количества подаваемого кислорода на 100 м³/мин способствует увеличению производительности на 100 т/сут.

Следует отметить, что влияние количества поступающего кислорода на производительность доменной печи при выплавке ферромарганца в 4–5 раз ниже относительно доменных печей, выплавляющих перелый чугун.

ВЛИЯНИЕ НА РАСХОД КОКСА

Как указывалось выше, по данному направлению производили оценку влияния структуры шихты и содержание марганца в чугуна. Влияние оценивали методом математической статистики с использованием инструментов программы Minitab. Оценку производили путем создания многофакторного уравнения регрессии. При построении уравнения регрессии производилась отсечка факторов, влияние которых статистически незначимо. Полученные результаты приведены на рис. 4.

Regression Equation

Расход кокса, кг/т = -1353 + 0,2034 Руда карбонатная (Ушкатын) + 44,9 Mn

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	95% CI	T-Value	P-Value	VIF
Constant	-1353	902	(-3559; 853)	-1,50	0,184	
Руда карбонатная (Ушкатын)	0,2034	0,0989	(-0,0387; 0,4455)	2,06	0,086	15,04
Mn	44,9	12,1	(15,2; 74,6)	3,70	0,010	15,04

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	PRESS	R-sq(pred)	AICc	BIC
68,9479	88,98%	85,30%	48961,0	81,08%	116,09	106,88

Рис. 4. Уравнение регрессии связи расхода кокса с параметрами шихты и содержанием марганца в чугуна

Наиболее значимо на расход кокса влияют расход сырой марганцевой руды и содержание марганца в чугуна (рис.4). Так увеличение расхода руды на 10 кг/т чугуна способствует увеличению расхода кокса на 2 кг/т чугуна, а каждый 1 % содержания марганца повышает расход кокса на 45 кг/т чугуна.

Причем в зависимости от условий работы доменных печей коэффициенты влияния могут изменяться в достаточно

широком диапазоне. Так коэффициент влияния расхода руды может принимать значения от 0,4 до 4,5 кг/т чугуна на каждые 10 кг руды. Относительно влияния содержания марганца, то его влияние может изменяться от 15 до 75 кг/т чугуна на каждый дополнительный 1 % марганца в чугуна.

Ниже (рис. 5) приведена дополнительная информация по тесноте полученной связи.

Analysis of Variance

Source	DF	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	2	230257	88,98%	230257	115129	24,22	0,001
Руда карбонатная (Ушкатын)	1	165159	63,82%	20088	20088	4,23	0,086
Mn	1	65098	25,16%	65098	65098	13,69	0,010
Error	6	28523	11,02%	28523	4754		
Total	8	258780	100,00%				

Рис. 5. Удельное влияние факторов на тесноту связи

Теснота связи составляет 89 % (рис. 5), при этом на расход марганцевой руды приходится 64 %, а на содержание марганца в чугуна 25 %. Ошибка полученного уравнения составляет 11 %.

ВЛИЯНИЕ НА СТЕПЕНЬ УСВОЕНИЯ МАРГАНЦА

Произведен анализ влияния параметров шлакового режима на эффективность

использования марганца. Выбор влияющих факторов был обусловлен анализом технической литературы [13]. В качестве влияющих факторов анализировались удельный выход шлака, содержание оксида магния (MgO), а также величина основности шлака по модулям В2 и В3. Результаты оценки приведены на рис. 6–9.

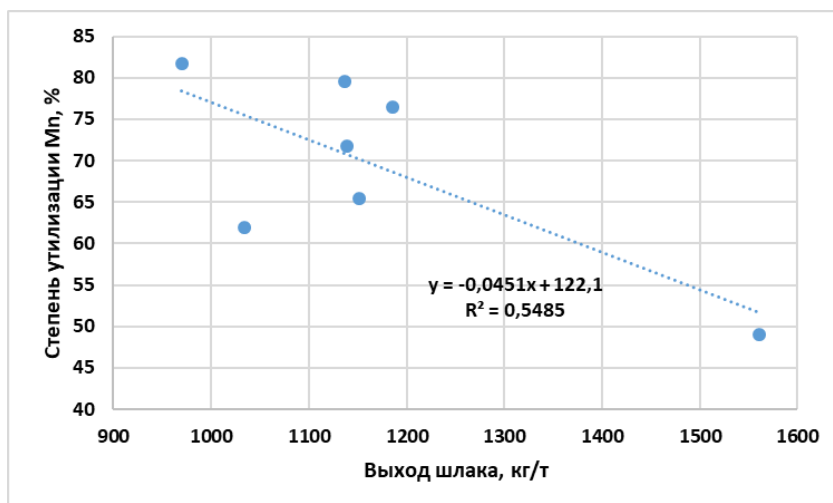


Рис. 6. Влияние удельного выхода шлака на степень усвоения марганца

Рост удельного выхода шлака способствует снижению степени усвоения марганца (рис. 6). В среднем каждые дополнительные 100 кг шлака на тонну чугуна способствуют снижению степени усвоения марганца на 4,5 %. Т.е., для повышения эффективности плавки ферромарганца в доменных печах и снижения потерь марганца необходима работа с минимально возможным удельным

выходом шлака, что может быть обеспечено применением подготовленного сырья, снижением количества пустой породы в шихтовых материалах и т.д.

На рис. 7–9 приведена информация о влиянии содержания оксида магния (рис. 7), основности шлака по модулю В2 (рис. 8) и основности по модулю В3 (рис. 9) на степень усвоения марганца.

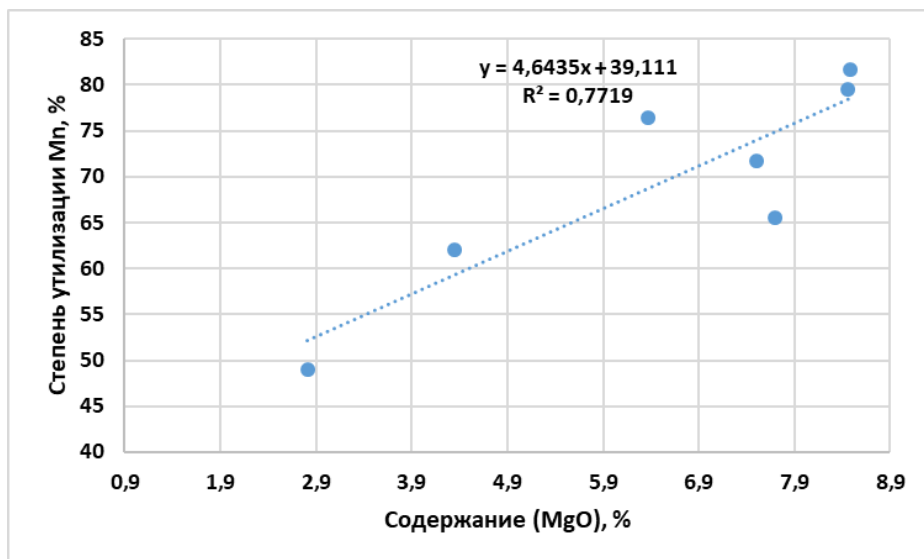


Рис. 7. Влияние содержания (MgO) на степень усвоения марганца

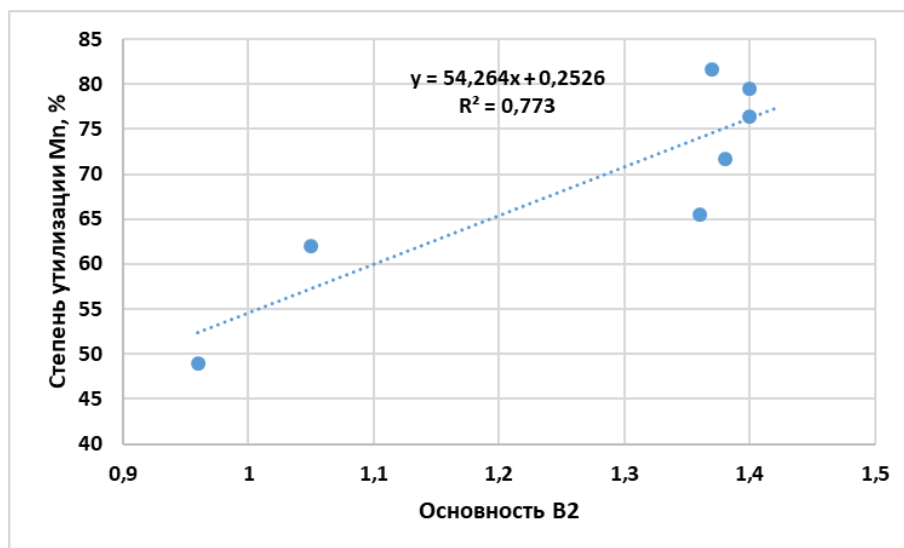


Рис. 8. Влияние основности по модулю B2 на степень усвоения марганца

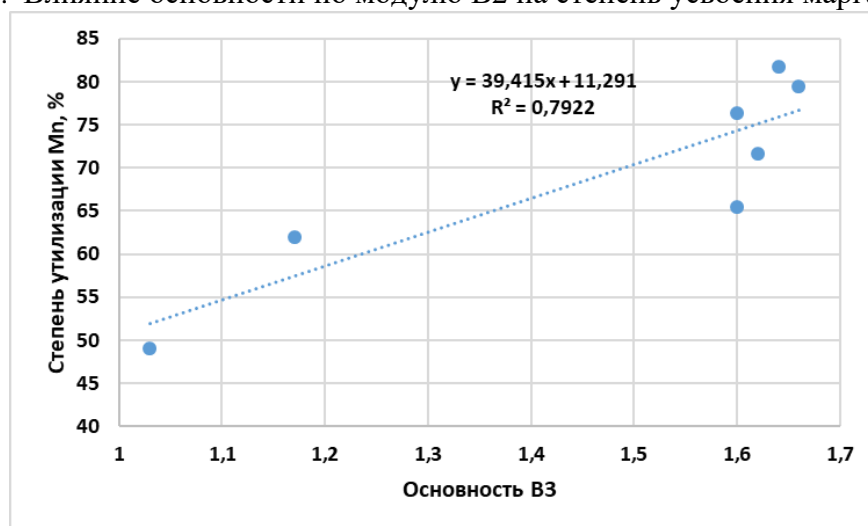


Рис. 9. Влияние основности по модулю B3 на степень усвоения марганца

Как показывают полученные результаты, росту степени усвоения марганца способствуют повышение содержания оксида магния, а также основности шлака. В среднем каждый дополнительный процент (MgO) способствует повышению степени усвоения марганца на 4,6 %. Рост основности шлака на 0,1 ед. способствует увеличению степени усвоения марганца на 5,4 % (влияние основности по модулю B2) и на 3,9 % (влияние основности по модулю B3).

Следует отметить, что уровень основности шлака при выплавке ферромарганца в доменных печах существенно выше (на 0,4–0,5 ед.), чем на печах, выплавляющих перелитейный чугун.

ВЫВОДЫ

1. Проанализировано влияние отдельных элементов технологии на эффективность плавки ферромарганца в доменных печах полезным объемом 1000 м³. В качестве показателей эффективности доменной плавки использовали такие показатели, как производительность доменной печи, удельный расход кокса, степень усвоения марганца.

2. Результаты анализа влияния дутьевого режима на производительность показали, что рост давления под колошником способствует увеличению расхода дутья с соответствующим повышением количества подаваемого кислорода. В целом каждые дополнительные 100 м³/мин подаваемого кислорода способствуют увеличению производительности на 100 т/сут. Следует

отметить, что влияние количества поступающего кислорода на производительность доменной печи при выплавке ферромарганца в 4–5 раз ниже относительно доменных печей, выплавляющих перелитейный чугун.

3. Наиболее значимо на расход кокса влияют расход сырой марганцевой руды и содержание марганца в чугуне. Так увеличение расхода руды на 10 кг/т чугуна способствует увеличению расхода кокса на 2 кг/т чугуна, а каждый 1 % содержания марганца повышает расход кокса на 45 кг/т чугуна. Причем в зависимости от условий работы доменных печей коэффициенты влияния могут изменяться от 0,4 до 4,5 кг/т чугуна на каждые 10 кг руды и от 15 до 75 кг/т чугуна на каждый дополнительный 1 % марганца в чугуне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Норхина, О.И.** Рациональное использование марганцевого сырья / О.И. Норхина, В.П. Комшуков, В.И. Дмитриенко. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 2004. – № 6. – С. 52–53.

2. Влияние объема и профиля печи на технико-экономические показатели доменной плавки ферромарганца / И.В. Котельников, Н.Н. Попов, В.И. Варава, А.Т. Анисимов. – Текст : непосредственный // *Сталь.* – 1965. – № 10. – С. 880–883.

3. **Шумаков, Л.Г.** Опыт выплавки ферромарганца в большой доменной печи / Л.Г. Шумаков, Г.И. Часовитин. – Текст : непосредственный // *Сталь.* – 1960. – № 2. – С. 104–107.

4. Выплавка доменного ферромарганца с использованием кускового карбонатного марганцевого концентрата / В.И. Мартынов, В.И. Варава, С.В. Брусенко [и др.] – Текст : непосредственный // *Сталь.* – 1987. – № 12. – С. 30–33.

5. **Котельников, И.В.** Выплавка ферромарганца с применением карбонатной марганцевой руды / И.В. Котельников, П.У. Понаморов, Ю.И. Гринберг. – Текст :

непосредственный // *Металлургическая и*

4. Рост удельного выхода шлака способствует снижению степени усвоения марганца. В среднем каждые дополнительные 100 кг шлака на тонну чугуна способствуют снижению степени утилизации марганца на 4,5 %.

5. Росту степени усвоения марганца способствует повышение содержания оксида магния, а также основности шлака. В среднем каждый дополнительный процент (MgO) способствует повышению степени утилизации марганца на 4,6%. Рост основности шлака на 0,1 ед. способствует увеличению степени утилизации марганца на 5,4 % (влияние основности по модулю B2) и на 3,9 % (влияние основности по модулю B3).

горнорудная промышленность. – 1964. – № 3. – С. 6–9.

6. Выплавка ферромарганца в доменных печах при повышенном приходе щелочей с шихтой / А.А. Гомонов, В.И. Варава, А.А. Бачинин [и др.]. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 1985. – № 4. – С. 11–13.

7. Выплавка доменного ферромарганца с применением марганцевого офлюсованного агломерата / И.М. Мищенко, В.И. Варнава, Н.М. Бондаренко [и др.]. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 2000. – № 10. – С. 38–40.

8. Совершенствование технологии выплавки ферромарганца / И.В. Котельников, В.В. Диденко, И.Я. Устименко [и др.]. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 1976. – № 5. – С. 11–13.

9. **Якименко, Г.С.** Экономия марганца при выплавке ферромарганца в доменной печи / Г.С. Якименко, Н.М. Хоменко. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 1986. – № 5. – С. 10–12.

10. Оптимизация шлакового режима при выплавке доменного ферромарганца (FeMn) / В.А. Ноздрачев, Н.И. Гуртовой, В.И. Малкин [и др.]. – Текст : непосредственный // *Металлургия и литье Украины.* – 1998. – № 1–2. С. 43–48.

11. **Мулько, Г.Н.** Выплавка ферромарганца в доменных печах / Г.Н. Мулько, А.А. Бондарь, В.А. Зайцев. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 2000, № 2. – С. 21–23.

12. Рациональный дутьевой режим при выплавке доменного ферромарганца / Ю.Н. Кожемяченко, С.И. Первушин,

В.И. Варава [и др.]. – Текст : непосредственный // *Металлург.* – 1987. – № 12. – С. 9–11.

13. **Гладышев, В.И.** Марганец в доменном процессе / В.И. Гладышев. Екатеринбург. Изд-во Чароид, 2005. – С. 402. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Титов Владимир Николаевич

кандидат технических наук, доцент кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Куприянова Ирина Вячеславовна

старший преподаватель кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Кравченко Татьяна Викторовна

старший преподаватель кафедры металлургических технологий, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Information about the authors:

Titov Vladimir Nikolaevich

Associate Professor of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Kupriyanova Irina Vyacheslavovna

Senior lecturer of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

Kravchenko Tatiana Viktorovna

Senior lecturer of the Department of Metallurgical Technologies, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

e-mail: kaf-mt@stu.lipetsk.ru

DOI 10.53015/30343275_2025_2_73

УДК 621.783.245:621.317

А.И. ШАРАПОВ, Д.Р. ПЧЕЛЬНИКОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ ДЛЯ КОЛПАКОВЫХ ПЕЧЕЙ ОТЖИГА ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В данной статье исследуются термодинамические процессы в колпаковых печах для отжига рулонов листового металла. Рассматриваются газовые среды, используемые в процессе, а также характеристики термопар ТХА и ТХК, обеспечивающих точный контроль температуры и стабильность в высокотемпературных условиях.

Ключевые слова: колпаковые печи, термодинамические процессы, термопары, газовые среды, температурный контроль.

THE USE OF RUSSIAN MEASURING INSTRUMENTS FOR SHEET METAL BELL FURNACE ANNEALING

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: This article investigates the thermodynamic processes in bell furnaces to anneal rolls of sheet metal. It examines the gas atmospheres used in the process, as well as the characteristics of thermocouples that ensure accurate temperature control and stability under high-temperature conditions.

Keywords: bell furnaces, thermodynamic processes, thermocouples, gas atmospheres, temperature control.

ВВЕДЕНИЕ

В колпаковых печах, предназначенных для отжига рулонов листового металла, термическая обработка осуществляется в атмосфере инертных или обладающих слабой восстановительной способностью газов, таких как азот и водород, либо их смесей, что позволяет минимизировать окисление поверхности металла. Температурный режим в этих установках варьируется от 500 до 750 °C в основной фазе отжига, достигая в некоторых технологических процессах значений порядка 800–900 °C в кратковременных режимах подъема или стабилизации температуры.

Метрологическое оснащение колпаковых печей предъявляет высокие требования к материалам чувствительных элементов и защитной арматуры термопар, которые должны обеспечивать стойкость к высокотемпературной инертной или газовой среде со слабой восстановительной способностью, минимальную склонность к науглероживанию и стабильность термоэлектрических характеристик в условиях длительного нагрева. В качестве материалов защитных оболочек предпочтение отдается сталям типа 12X18H10T (легированная хромом и никелем) и 10X23H18, а при наличии в атмосфере следов сернистых соединений — жаростойким сплавам класса ХН45Ю (содержание хрома увеличено более чем в 2 раза), устойчивым к сероводородному воздействию и высоким температурам.

АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Термопары типов ТХА (хромель-алюмель) и ТХК (хромель-копель) являются одними из наиболее распространенных стандартных исполнений термоэлектрических преобразователей благодаря удачному сочетанию эксплуатационных и метрологических характеристик. Рабочий элемент термопары ТХА состоит из пары проводников: хромеля, сплава никеля с добавлением хрома (около 90 % никеля и 10% хрома), и алюмеля, сплава никеля с алюминием, марганцем и кремнием (около 95 % никеля, 2,5 % алюминия, 1,9 % марганца и 0,9 % кремния). Термопара ТХК использует в качестве второй ветви вместо алюмеля сплав копель, содержащий 43–44 % никеля, 2–3 % железа и остаток — медь.

Выбор этих пар материалов обусловлен необходимостью получения высоких и линейных значений термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС) в широком диапазоне температур, а также устойчивостью к окислительным и нейтральным средам. Хромель-алюмелевая термопара (ТХА) отличается хорошей стабильностью и невысокой теплопроводностью, что способствует снижению тепловых потерь через измерительную цепь. Она обеспечивает высокую чувствительность, около 40 мкВ/°C, почти постоянную в широком интервале температур. Хромель-копелевая термопара (ТХК) характеризуется еще большей чувствительностью, достигающей 65–85 мкВ/°C, что обеспечивает высокую

точность измерений в диапазоне до 600 °С, однако ограничивает ее применение в более высокотемпературных средах из-за склонности копеля к окислению при температурах выше 800 °С.

При сравнении с альтернативными термопарами, например, на основе платинородиевых сплавов, термопары ТХА и ТХК имеют заметно более низкую стоимость при удовлетворительном уровне точности, что делает их экономически целесообразным выбором для задач, требующих массового использования термодатчиков без необходимости сверхвысокой прецизионности. В отличие от железо-константановых термопар, термопары ТХА и ТХК обладают лучшей коррозионной стойкостью и стабильностью характеристик в средах, не содержащих агрессивных примесей серы и углерода.

В этой связи применение российских термопар ТХА и ТХК является технически обоснованным решением для контроля температуры в колпаковых печах. Для мониторинга температуры газовой среды под колпаком перспективным представляется использование термопар ТХА-0192 в исполнении с защитной арматурой из стали 12Х18Н10Т и изолированным рабочим спаем. Эти преобразователи обеспечивают работу в диапазоне от –40 до +800 °С, обладают тепловой инерцией не более 20 секунд и рассчитаны на ресурс не менее 10 000 часов при номинальной температуре применения. При необходимости работы при более высоких температурах или в агрессивных средах предпочтение следует отдавать модификациям ТХА-0192ТЗ, где защитная арматура выполнена из стали ХН45Ю, обеспечивающей допустимую эксплуатацию до +1100 °С при сохранении аналогичных характеристик ресурса.

В тех случаях, когда требуется высокая чувствительность и минимальная тепловая инерция при контроле быстрых колебаний температуры газов, оптимальным выбором являются бескорпусные термопары ТХА/ТХК-0292 с керамическими изоляторами. Показатель тепловой инерции для этих преобразователей не

превышает 2 секунд, что делает их пригодными для оперативного отслеживания температурных изменений в чистых газовых средах. При этом ресурс термопар данного исполнения оценивается на уровне 8 000 часов в стационарных условиях при температуре номинального применения.

Для контроля температуры самих рулонов, являющихся массивными теплопоглощающими объектами, рекомендуется использовать термопары типа ТХА-1192-М1, отличающиеся наличием прочной металлической арматуры со штуцером для надёжной фиксации, высокой степенью герметичности исполнения (IP66) и рабочим диапазоном температур до +800 °С. Показатель тепловой инерции для ТХА-1192-М1 составляет не более 90 секунд, что соответствует требованиям контроля массивных металлических тел, а ресурс достигает 50 000 часов при номинальной температуре применения.

Кроме того, в случае необходимости реализации конструктивных решений с возможностью быстрой замены чувствительных элементов без демонтажа основного узла целесообразно использование исполнений типа ТХА-0495. Для этих термопар также характерны высокие показатели ресурса и допустимой температуры работы (до +1000 °С), что позволяет применять их в условиях интенсивных температурных нагрузок.

Следует отметить, что термопары рассматриваемых типов — ТХА-0192, ТХА/ТХК-0292, ТХА-1192-М1 и ТХА-0495 — в настоящее время серийно выпускаются отечественными производителями и доступны к заказу на российском рынке в различных исполнениях, что упрощает их применение в новых разработках и при модернизации действующего оборудования.

ВЫВОД

Термопары типов ТХА и ТХК представляют собой оптимальное решение для контроля температуры в колпаковых печах, обеспечивая высокую чувствительность, стабильность и

коррозионную стойкость в условиях термической обработки листового металла. Их использование позволяет эффективно минимизировать окисление поверхности металла благодаря работе в инертной или слабо восстанавливающей атмосфере. Разнообразие исполнений, таких как ТХА-0192, ТХА/ТХК-0292, ТХА-1192-M1 и ТХА-0495, позволяет выбрать подходящий вариант в зависимости от специфических

требований к температурному контролю, включая высокую чувствительность, низкую тепловую инерцию и возможность быстрой замены элементов. Доступность этих термопар на российском рынке способствует их широкому применению в новых и модернизируемых установках, что делает их важным инструментом для повышения эффективности процессов термической обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бахаев, К.В.** Особенности отжига низкоуглеродистых стальных полос в колпаковых печах различного типа / К.В. Бахаев, Д.Ю. Пожаренко, С.М. Бельский. – Текст : непосредственный // Прокатное производство. Приложение к журналу "Технология металлов". – 2024. – № 20. – С. 26–30.

2. Отжиг холоднокатаных полос в атмосфере защитных газов / А.В. Радионов, Н.В. Закревская, С.В. Пилипенко, О.П. Штемпель. – Текст : непосредственный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2023. – № 2(48). – С. 13–21.

3. **Михеев, М.А.** Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – Москва : Энергия, 1977. – 344 с. – Текст : непосредственный.

4. Измерение температуры – главная задача обеспечения технологических процессов в металлургии. К 200-летию открытия термоэлектрического эффекта / Т.И. Зеебеком, А. М. Беленький, А.Н. Бурсин, А.А. Улановский, С.И. Чибизова. – Текст : непосредственный // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2021. – Т. 77, № 4. – С. 393–405.

5. **Франценюк, И.В.** Опыт эксплуатации колпаковых печей HICON/H 2 на НовOLIпецком металлургическом

комбинате : учебное пособие для вузов / И.В. Франценюк, Л.И. Франценюк. – Москва : Академкнига, 2010. – 312 с. – Текст : непосредственный

6. **Беленький, А.М.** Исследование и совершенствование тепловой работы одностопных электрических колпаковых печей / А.М. Беленький, А.Н. Бурсин, С.И. Калимулина. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2007. – № 7. – С. 67–68.

7. **Нитченко, К.А.** Анализ эффективности работы измерительных приборов и автоматики на воздухоразделительных установках типа АК 40/35 / К.А. Нитченко, А.И. Шарапов, А.В. Курина. – Текст : непосредственный // Перспективы развития технологий обработки и оборудования в машиностроении : сборник научных статей 5-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Курск, 14 февраля 2020 года / Редколлегия: А.А. Горохов. – Курск : Юго-Западный государственный университет, 2020. – С. 190–192.

8. **Панферов, В.И.** Управление отжигом стальных рулонов в колпаковых печах / В.И. Панферов, С.В. Панферов. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Металлургия. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 61–73.

9. **Улановский, А.А.** Термоэлектрический метод измерения температуры на службе высоких технологий / А.А. Улановский. – Текст : непосредственный // Информатизация и

системы управления в промышленности. – 2023. – № 2(104). – С. 85–88.

10. **Панферов, В.И.** О расчетно-инструментальном контроле качества нагрева и термообработки металла в печах / В.И. Панферов. – Текст : непосредственный // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Metallurgy. – 2020. – Т. 20, № 4. – С. 56–66.

Сведения об авторах:

Шарапов Алексей Иванович

кандидат технических наук,
доцент кафедры промышленной
теплоэнергетики,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: sharapov-lipetsk@yandex.ru

Пчельников Данила Романович

аспирант кафедры промышленной
теплоэнергетики,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

e-mail: cool.garvel@yandex.ru

11. **Певзнер, М.З.** Оптимизация термообработки рулонов латунной ленты в окислительной атмосфере промышленных печей / М.З. Певзнер. – Текст : непосредственный // Производство проката. – 2019. – № 2. – С. 32–39.

12. Отжиг холоднокатаных полос в атмосфере защитных газов / А.В. Радионов, Н.В. Закревская, С.В. Пилипенко, О.П. Штемпель. Текст : непосредственный // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. Промышленность. Прикладные науки. – 2023. – № 2(48). – С. 13–21.

Information about the authors:

Sharapov Alexey Ivanovich

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department,
Industrial Heat and Power Engineering
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

Pchelnikov Danila Romanovich

Postgraduate student of the Department,
Industrial Heat and Power Engineering
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

И.А. ПУГАЧЕВ

**ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ – ОПЫТ ОСВОЕНИЯ И ПРАКТИКА
ПРИМЕНЕНИЯ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается опыт освоения технологии топологической оптимизации и практика применения данной технологии на примерах разработки различных конструктивных элементов и объектов как в области машиностроения и металлообработки, так и в других областях – в промышленном дизайне при создании так называемых бионик/органик форм объектов; в реконструктивной и регенеративной медицине при проектировании и воспроизводстве имплантатов различных протезируемых органов или органов, подлежащих восстановлению, а также рассматриваются отличительные особенности реализации технологии топологической оптимизации в различных CAD/CAE пакетах.

Ключевые слова: топологическая оптимизация, CAD/CAE системы, аддитивные технологии, 3D-печать, реконструктивная медицина, имплантология.

I.A. PUGACHEV

**TOPOLOGICAL OPTIMIZATION – EXPERIENCE OF MASTERING
AND PRACTICAL APPLICATION**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses the experience of mastering the topological optimization technology and its practical application using the examples of developing various structural elements and objects both in mechanical engineering and metalworking and in other areas: in industrial design when creating the so-called bionic/organic forms of objects; in reconstructive and regenerative medicine when designing and reproducing implants of various prosthetic organs or organs to be regenerated. Also, the distinctive features of implementing the topological optimization technology in various CAD/CAE packages are considered.

Keywords: topological optimization, CAD/CAE systems, additive technologies, 3D-printing, reconstructive medicine, implantology.

ВВЕДЕНИЕ

Топологическая оптимизация – это метод разработки геометрии и форм несущих элементов различных конструкций и объектов с учетом распределения испытываемых ими нагрузок и граничных условий (защемлений, закреплений, распределения температурных полей,

гидродинамических нагрузок и т.п.), накладываемых на объект. В основе этой технологии положен сложный математический аппарат расчётов напряженно-деформационного состояния (НДС) объекта. В результате выявляются те

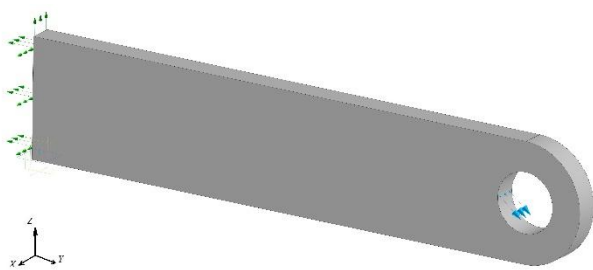
места и области объекта, которые принимают на себя основную нагрузку и деформации, а остальное можно вычистить. Цель – значительное снижение веса изделия при сохранении несущей способности и его прочностных характеристик. Кроме того, топологическая оптимизация сделала возможным создавать объекты, состоящие полностью или частично из ячеистых и решетчатых структур различных форм и размеров, также создавать оболочковые изделия, в которых эти структуры выполняют функцию дополнительных внутренних несущих элементов, увеличивающих жесткость конструкций при кардинальном снижении массы таких объектов. Как правило топологическая геометрия имеет плавные сплайновые формы, которые являются основой так называемого «бионик/органик» дизайна. В этом смысле топологическую оптимизацию можно отнести к «природоподобным технологиям». Только природа в ходе эволюции и естественного отбора тратит на создание таких форм миллионы лет. А современный математический аппарат и компьютерные алгоритмы позволяют достичь этого за минуты-часы. Последнее также стало возможным материализовать только с появлением и бурным развитием аддитивных технологий 3D-печати.

Большинство современных CAD/CAE пакетов включают в себя модули топологической оптимизации. Это такие пакеты как Siemens NX, SolidWorks, PTC Creo, CATIA, ANSYS, и т.д. Такой же модуль в своем составе имеет и российский программный продукт КОМПАС-3D от компании АСКОН [1]. Называется он APM FEM и разработан предприятием НТЦ «АПИМ» [2].

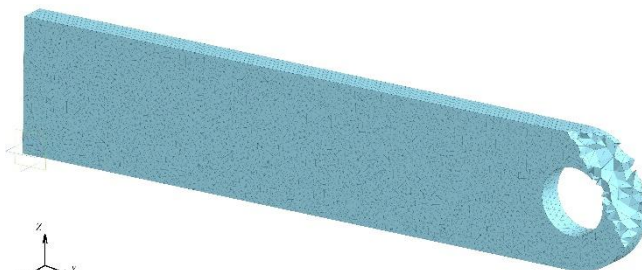
Процесс топологической оптимизации включает в себя несколько основных этапов. Первый этап – создание

или импорт в модуль топологической оптимизации 3D-модели искомого объекта, постановка задачи, назначение граничных и начальных условий (назначение закреплений/защемлений объекта, мест приложений и величин нагрузок в векторной форме; присвоение материала объекту с указанием физико-механических и теплофизических свойств, необходимых для расчетов НДС и т.п.). Второй этап – создание и наложение на объект объемной, как правило триангулярной сетки конечных элементов (КЭ) и расчет НДС объекта с применением математического метода конечных элементов (МКЭ). Третий этап – на основе этого расчета подключение алгоритмов топологической оптимизации с назначением критериев такой оптимизации (жесткости, минимизации объема и т.п.) с последующей постобработкой результатов. Четвертый этап – интерпретация результатов, конструкторская и дизайнерская проработка конечной формы объекта с учетом полученных результатов и проведение повторных проверочных расчетов.

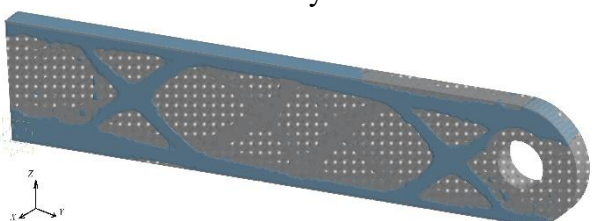
Ниже на рис. 1 приведены основные этапы освоения технологии топологической оптимизации на примере детали «Балка консольная» в модуле APM FEM пакета КОМПАС-3D, выполненные по материалам обучающего вебинара компании АСКОН [3]. Для расчетов были приняты следующие начальные и граничные условия. Балка жестко закреплена с торца по плоскости ZX. К проушине балки приложена векторная нагрузка в виде растягивающих сил по осям Y и Z: $F_y = 5000 \text{ N}$, $F_z = (-) 4000 \text{ N}$. Соответственно, величина результирующего вектора силы: $F = 6403,12 \text{ N}$. Материал детали – сталь 20 ГОСТ 1050-2013.



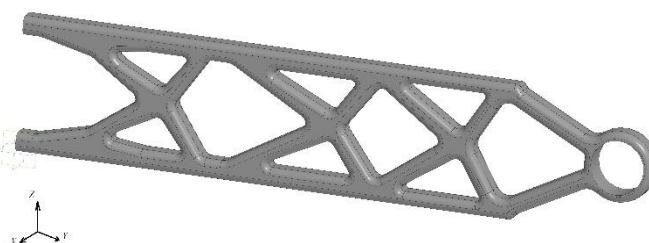
Первый этап – назначение граничных и начальных условий



Второй этап – создание сетки КЭ



Третий этап – расчет НДС и подключение алгоритмов топологической оптимизации

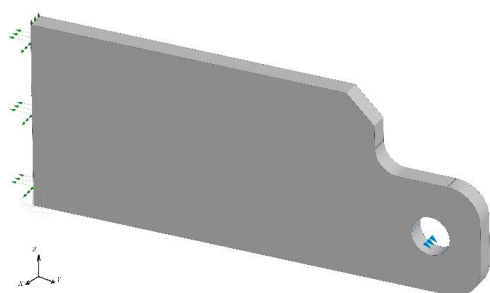


Четвертый этап – интерпретация результатов, проработка конечной формы

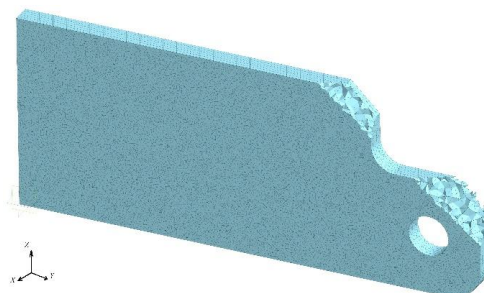
Рис. 1. Основные этапы топологической оптимизации детали «Балка консольная»

С целью проверки как небольшое изменение формы начального объекта повлияет на результаты расчетов топологической оптимизации, был проведен аналогичный расчет детали

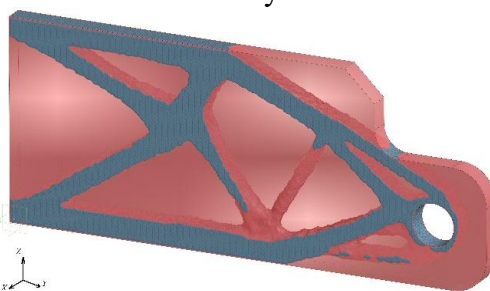
«Балка консольная» измененной конструкции с такими же начальными и граничными условиями. На рис. 2 приведены результаты такого расчета.



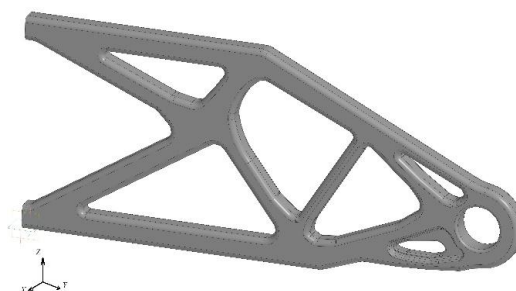
Первый этап – назначение граничных и начальных условий



Второй этап – создание сетки КЭ



Третий этап – расчет НДС и подключение алгоритмов топологической оптимизации



Четвертый этап – интерпретация результатов, проработка конечной формы

Рис. 2. Результаты расчетов топологической оптимизации детали «Балка консольная» измененной конструкции

Сравнение результатов, приведенных на рис. 1 и 2, позволяет сделать вывод, что форма исходного объекта значительно влияет на форму того же объекта после проведения топологической оптимизации.

Для того чтобы определить, как топологическая оптимизация и соответствующее изменение конструкции деталей (см. рис. 1 и 2) в результате выполнения этой операции повлияет на их прочностные свойства в сравнении с исходными объектами, в модуле APM FEM пакета КОМПАС-3D были проведены

поверочные расчеты прочностных свойств исходных и топологически измененных объектов с теми же начальными и граничными условиями. На рис. 3 приведены результаты таких поверочных расчетов. Верхняя строка – результаты расчетов деформации прогиба (перемещений) исходных объектов (слева – деталь «Балка консольная», справа – деталь «Балка консольная» измененной конструкции). Нижняя строка – результаты расчетов деформации прогиба (перемещений) тех же объектов после топологической оптимизации.

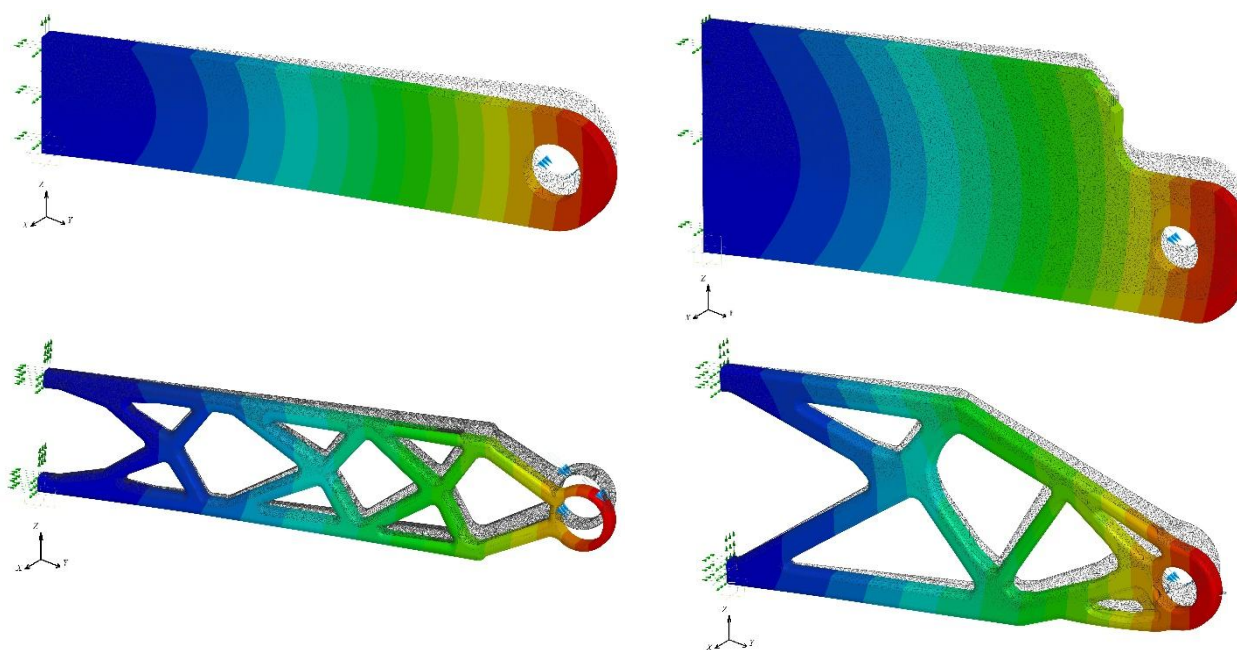


Рис. 3. Результаты поверочных расчетов деформаций прогиба (перемещений) деталей «Балка консольная»

Из рис. 3 следует, что величина деформации прогиба (перемещений) исходных деталей и деталей после выполнения топологической оптимизации практически одинаковы. То есть прочностные и несущие характеристики обеих деталей почти не изменились, но при этом массу каждого изделия удалось снизить примерно на 60 %. Вес исходной детали «Балка консольная» (см. рис. 1) составляет 59 кг; после топологической оптимизации – 24,9 кг. Вес исходной детали «Балка консольная» измененной конструкции (см. рис. 2) – 107,8 кг; после топологической оптимизации – 44,3 кг. Такое значительное снижение веса деталей

при сохранении прочностных свойств наиболее востребовано в авиа- и ракетостроении.

Также решено было проверить, как направление приложения вектора нагрузки влияет на конечную форму изделия в результате выполнения топологической оптимизации. Процедура была выполнена на той же модели «Балка консольная», представленной на рис.1 при следующих начальных и граничных условиях. Балка жестко закреплена с торца по плоскости ZX. К проушине балки приложена одноосная векторная нагрузка в виде растягивающей силы по оси Y: $F_y = 5000 \text{ N}$. На рис. 4 приведены результаты расчета.

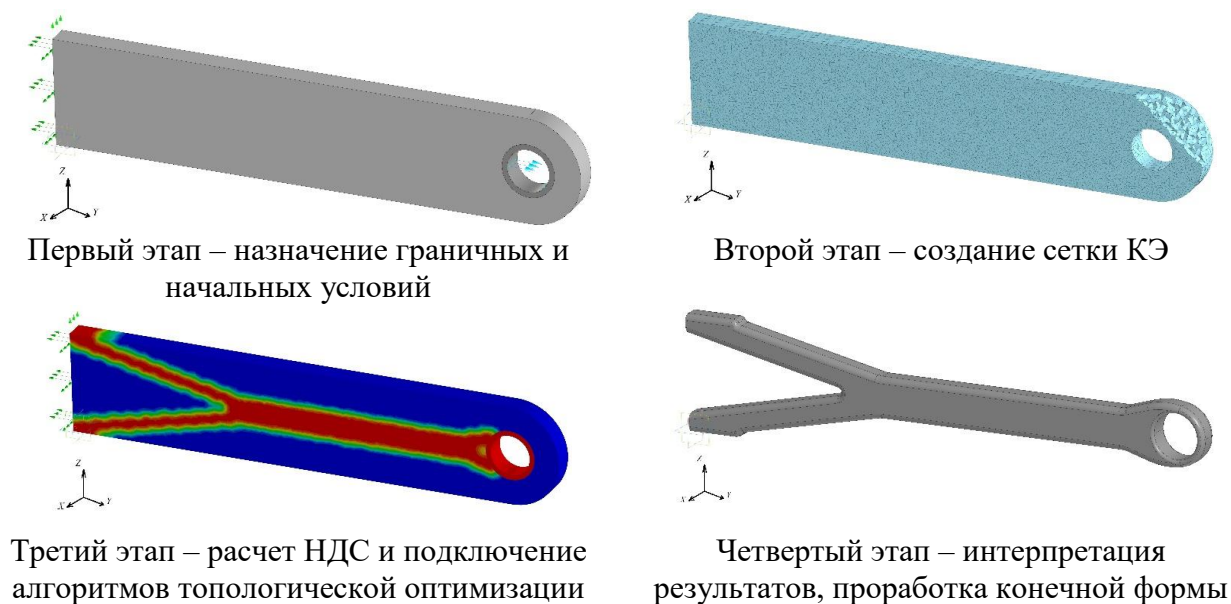


Рис. 4. Результат топологической оптимизации детали «Балка консольная» при одноосном растягивающем приложении нагрузки

Как видно на рис. 4 направление приложения нагрузки при топологической оптимизации кардинально влияет на форму и конструкцию конечного изделия. Из этого следует, что при выполнении топологической оптимизации следует тщательно подходить к назначению граничных и начальных условий и рассматривать при моделировании все возможные варианты закреплений/нагрузений реального объекта.

В рамках выполнения данной работы было решено исследовать, есть ли существенные отличия в математическом аппарате и разработанных на его основе алгоритмах топологической оптимизации в различных CAD/CAE системах. Так как исходный код каждой из систем является закрытым и к нему нет доступа, то было решено применить «метод черного ящика»

– подается сигнал на входе и по сигналу на выходе оценивают результат и функциональность системы [4]. Поэтому было выполнено моделирование топологической оптимизации искомой детали «Балка консольная» в одном из альтернативных пакетов. При этом начальные и граничные условия, а также места приложений, величины и направления векторных нагрузок были абсолютно идентичны приведенным выше на рис. 1 и рис. 4.

На рис. 5 изображены результаты одного из вариантов такого расчета: *а* – для случая, когда к проушине балки приложена векторная нагрузка в виде растягивающих сил по осям Y и Z : $F_y = 5000$ N, $F_z = (-) 4000$ N; *б* – для случая приложения одноосной векторной нагрузки в виде растягивающей силы по оси Y : $F_y = 5000$ N.

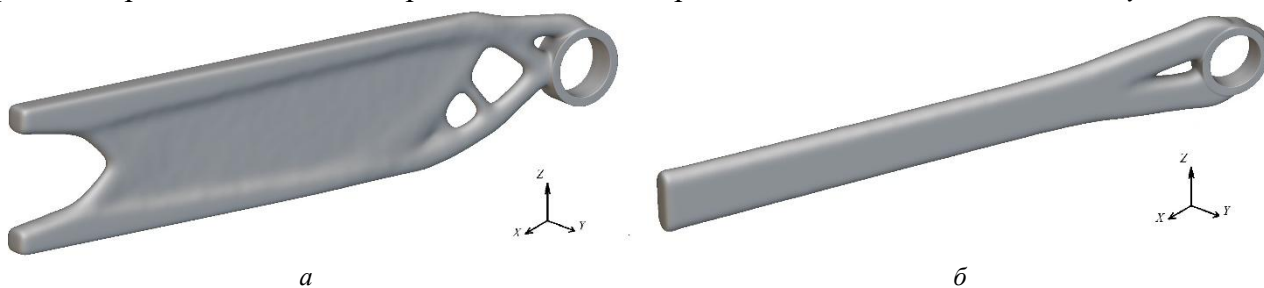


Рис. 5. Моделирование топологической оптимизации детали «Балка консольная» в альтернативном пакете

Если сравнивать рис. 1, рис. 4 и рис. 5, то как следует из рис. 5, результаты топологической оптимизации, выполненные в разных CAD/CAE пакетах, могут несколько отличаться друг от друга. Поэтому считаю, что прежде чем принять окончательное решение об изготовлении или, тем более запуске в массовое производство той или иной топологически оптимизированной детали или объекта, следует выполнить такое моделирование в нескольких альтернативных пакетах. Но окончательное решения принимать только

по итогам проведения поверочных расчетов и «натурных испытаний» каждого из вариантов.

Как упомянуто выше, технология топологической оптимизации позволяет создавать ячеистые и сетчатые структуры в объекте и тем самым еще больше снижать его вес при сохранении функциональных возможностей. Ниже на рис. 6, в качестве иллюстрации к сказанному, приведены несколько вариантов таких структур, созданных для детали «Балка консольная», представленных на рис. 5.



Рис. 6. Примеры ячеистых и сетчатых структур

Кардинально снизить вес при топологической оптимизации позволяет создание оболочковых изделий с внутренними несущими сеточными структурами, выполняющими роль опорных элементов, увеличивающих жесткость конструкций. На рис. 7 представлены основные этапы топологической оптимизации детали «Серьга»: а) исходная деталь; б) деталь

«Серьга» после выполнения топологической оптимизации; в) сравнение конфигурации исходной детали «Серьга» (полупрозрачный режим отображения) и этой же «топологически оптимизированной» детали; г) оболочковая «оптимизированная» деталь «Серьга» с внутренними опорными структурами в разрезе. Материал детали – титановый сплав ВТ14 ГОСТ 19801-91.

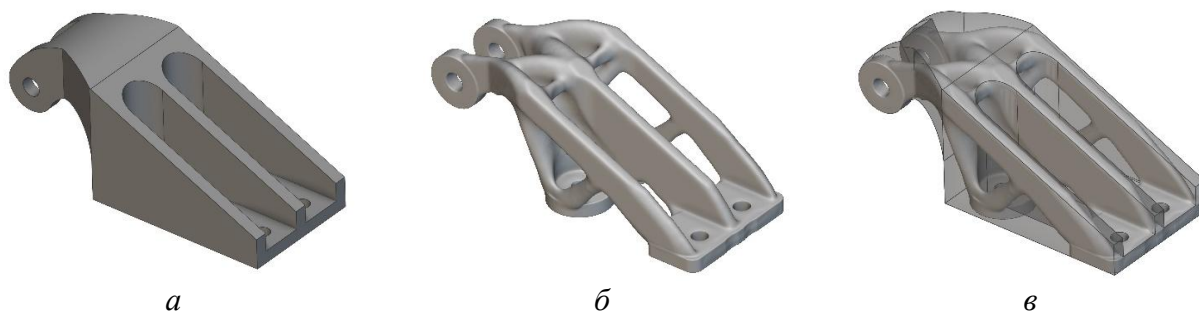
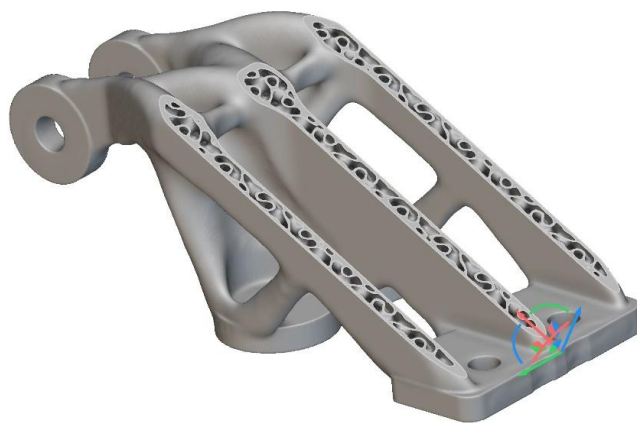


Рис. 7. Основные этапы топологической оптимизации детали «Серьга» из титанового сплава ВТ14



2

Рис. 7. Окончание. Основные этапы топологической оптимизации детали «Серьга» из титанового сплава BT14

Вес исходной детали (рис. 7, а) – 24 кг; вес детали «Серьга» после топологической оптимизации (рис. 7, б) – 16 кг; вес оболочковой детали с внутренними опорными структурами (рис. 7, в) – 8 кг.

Следует особо отметить, что если «топологически оптимизированные» детали, представленные на рис. 1 – 5 и даже на рис. 6 можно попытаться изготовить традиционными методами – литьем, штамповкой, ковкой, фрезерованием и т.п., то оболочковую деталь (см. рис. 7, в) исключительно методами 3D-печати, например, SLM [5].

В заключении хотелось бы привести пример возможного использования технологии топологической оптимизации в такой области как биомедицина, а именно, в имплантологии, протезировании, в реконструктивной и регенеративной медицине. В работе [6] описана технология производства имплантата позвонка методом литья по выплавляемым/выжигаемым моделям, разработанная автором совместно с магистрантом кафедры ОПМП Азариной А.Ю. Суть технологии в том, что на основе МРТ/КТ-снимков пациента, выполненных в формате DICOM, с помощью специального программного обеспечения генерируется 3D-модель искомого позвонка (или любого другого органа), далее она после соответствующей постобработки распечатается на 3D-принтере и по ней изготавливается (отливается) имплантат,

например, из титана, как наиболее гипоаллергенного металла. Однако уже в этой работе упоминалось, что наиболее прогрессивной и в полном смысле «природоподобной» технологией было бы изготовление подобных имплантатов методом 3D-печати на биопринтере из специальных сфероидов, выращенных в биореакторе из коллагена пациента. Причем предлагалась (далее цитата) «печать на 3D-принтере каркасной матрицы протезируемого органа из биосовместимого пластика или биополимера на основе коллагена пациента». Однако на момент выхода этой работы не было четкого представления, какой должна быть форма и структура таких каркасных матриц. Дальнейшее изучение предмета автором привело к заключению, что в наибольшей степени этим целям отвечают нерегулярные пространственные решетки-матрицы, созданные на основе математического аппарата, разработанного российским математиком и топологом Георгием Федосеевичем Вороным (1868-1908 гг.) [7]. Такие матрицы с нерегулярной структурой пространственных ячеек наилучшим образом должны удерживать «затравочный материал» для выращивания протезируемого или регенерируемого органа после «подсадки» его во внутреннее пространство ячеек такой матрицы. В качестве «затравочного материала» могут быть стволовые клетки (донорские или пациента) или выращенные в биореакторе

«зародыши» тканей протезируемого органа – хрящевая ткань, костная ткань, сердечная ткань или ткань печени, селезенки и т.п. На рис. 8: слева 3D-модель позвонка, сгенерированная из томограммы МРТ;

справа – 3D-модель пространственной нерегулярной решетки этого же позвонка, созданная на основе диаграммы Г.Ф. Вороного.

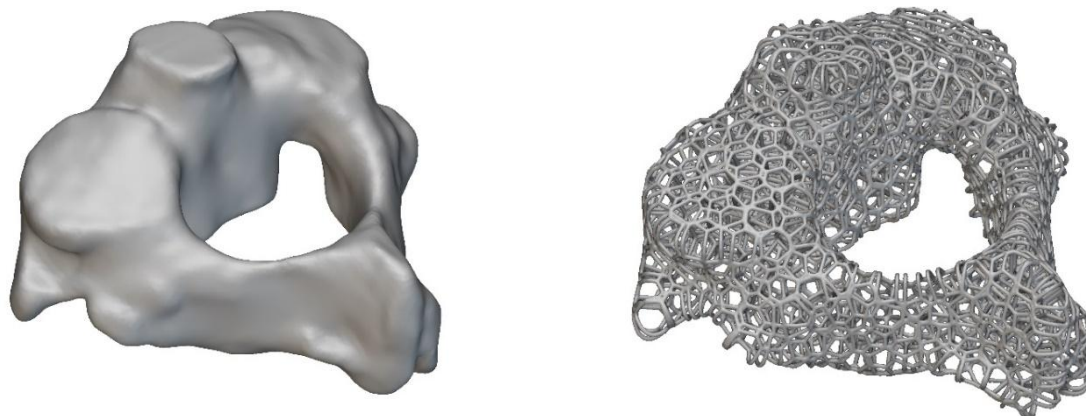


Рис. 8. 3D-модель позвонка

Для того, чтобы доказать, что данная технология работоспособна и может быть внедрена в практику, автором был напечатан имитационный прототип имплантата позвонка с нерегулярной структурой пространственной решетки Вороного (рис. 8) на 3D-принтере DLP из фотополимерной смолы на основе акрила.

На рис. 9 фото имитационного прототипа имплантата позвонка в момент окончания печати.

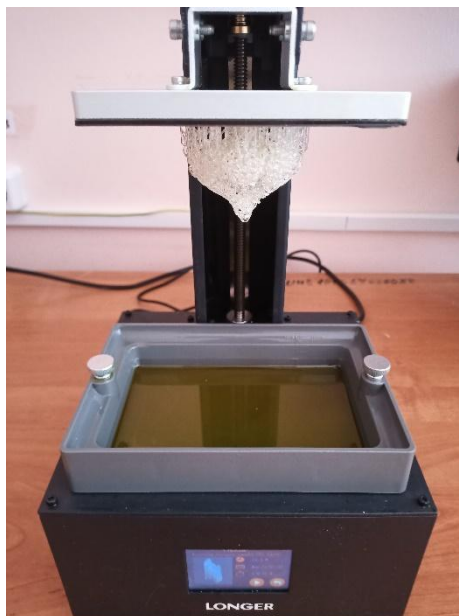


Рис. 9. Имитационный прототип позвонка с решеткой Вороного в момент окончания печати

На рис. 10 фото имитационного прототипа имплантата позвонка с нерегулярной пространственной решеткой

Вороного, отпечатанная на 3D-принтере DLP и после удаления поддержек, т.е. после постобработки.



Рис. 10. Имитационный прототип имплантата позвонка с нерегулярной решеткой Вороного, отпечатанный на 3D-принтере DLP

ВЫВОД

Таким образом топологическая оптимизация является на сегодняшний момент одной из самых передовых технологий в области инженерии в самом широком понимании этого термина, и

которая открывает широчайшие возможности как в области материального производства вообще, так и в области регенеративной биомедицины, имплантологии, промышленном дизайне и других областях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. КОМПАС-3D: – Текст : электронный // Российское инженерное ПО для проектирования, производства и бизнеса: [сайт] – URL : <https://ascon.ru/products/kompas-3d> (дата обращения: 17.04.2025).
2. НТЦ АПМ. – Текст : электронный // Система прочностного анализа АРМ FEM для КОМПАС-3D: [сайт] – URL : <https://apm.ru/apm-fem> (дата обращения : 17.04.2025).
3. Топологическая оптимизация в АРМ FEM. Обучающие материалы. – Текст : электронный // Инженерная практика 2020, часть 14: [сайт] – URL: <https://kompas.ru/publications/video/news/2020-09-22-topologicheskaya-optimizaciya-v-apm-fem-inzhenernaya-praktika-chast-14> (дата обращения: 24.03.2025).
4. Кривошеев, И.А. "Черный ящик" как основа решателя задач оптимизации параметров ГТД / И.А. Кривошеев, Ю.А. Хохлова, Р.А. Завьялов. – Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2011. – № 10 (33). – Т.1. – С. 76–81.

5. Селективное лазерное сплавление (Selective Laser Melting, SLM) – метод аддитивного производства. – Текст : электронный. – URL: https://ru.ruwiki.ru/Selective_laser_melting (дата обращения: 15.04.2025).

6. Пугачёв, И.А. Применение современных компьютерных технологий в реконструктивной медицине / И.А. Пугачёв, А.Ю. Азарина. – Текст : непосредственный // Школа молодых ученых материалы областного профильного семинара по проблемам технических наук. Администрация Липецкой области; Управление образования и науки Липецкой области; Липецкий государственный технический университет. Липецк : тезисы докладов I студенческой научно-практической конференции, 2017. – Липецк : ЛГТУ, 2017. – С. 7–12.

7. Долбилин, Н.П. Георгий Федосеевич Вороной (1868-1908) / Н.П. Долбилин. – Текст : непосредственный // Чебышевский сборник, 2018, т. 19, вып. 3. – С. 318–327

Сведения об авторе:

Пугачев Игорь Александрович

доцент кафедры оборудования и процессов машиностроительных производств, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Information about the author:

Pugachev Igor Alexandrovich

Associate Professor of the Department Equipment and Processes of Machine-building Industry, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

DOI 10.53015/30343275_2025_2_87

УДК 62-97/-98

Т.В. РЕДИЧКИНА, В.В. НЕВЕРОВ, П.Н. КЛЕВЦОВ, С.В. ЛЕБЕДЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СВАРКИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА С ШАРОВИДНЫМ ГРАФИТОМ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В работе приведены результаты металлографических исследований сварных соединений высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, выполненных сварочными материалами на никелевой основе с различным содержанием железа и отличающихся по стоимости. Даны рекомендации по использованию наиболее оптимального по стоимости и качеству сварного соединения сварочного материала для сварки такого металла.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным графитом, аустенит, ледебурит, цементит.

T.V. REDICHKINA, V.V. NEVEROV, P.N. KLEVTSOV, S.V. LEBEDEV

DETERMINATION OF THE OPTIMAL MATERIAL FOR WELDING PRODUCTS MADE OF HIGH-STRENGTH CAST IRON WITH SPHERICAL GRAPHITE

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper presents the results of metallographic studies of welded joints of high-strength cast iron with spherical graphite made with nickel-based welding materials with different iron content and different cost. Recommendations are given on using the most optimal welding material in terms of cost and quality for welding such metal.

Keywords: high-strength cast iron with spherical graphite, austenite, ledeburite, cementite

Высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧШГ) – единственный вид чугунов, поддающихся сварке в промышленных объемах. Его свойства, из которых особо критичным для сварки

является пластичность, сопоставимы со свойствами углеродистых сталей (табл. 1). Основная идея при разработке материалов для сварки ВЧШГ заключается в создании композиции, способной растворять в себе

углерод, содержащийся в зоне термического влияния (ЗТВ) свариваемого материала, оставаясь при этом пластичным. А уменьшение концентрации углерода в ЗТВ уменьшает вероятность образования хрупких структур (ледебурита и (или)

мартенсита) и, соответственно, образование трещин. [1–3].

Для этой цели разработаны специальные сварочные материалы для сварки чугуна. Как правило, это материалы на основе никеля [3–6].

Таблица 1

Сравнение основных механических свойств чугунов группы ВЧШГ и углеродистых марок сталей

Показатель механических свойств	Марка чугуна, по 7293–85			Марка стали		
	ВЧ40	ВЧ45	ВЧ50	Сталь 45 (ГОСТ 1050-74)	Сталь 65Г (ГОСТ 14959-79)	У8 (ГОСТ 2283-79)
Предел прочности на разрыв, σ_b , МПа	400	450	500	570	980	980
Условный предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	250	310	320	315	785	760
Относительное удлинение δ , %, не менее	15	10	7	20	10	10

Основное назначение никелевых сплавов при сварке чугуна – уменьшить содержание углерода в ЗТВ за счёт диффузии его в металл сварного шва, и уменьшить таким образом количество цементита и мартенсита и (или) ледебурита (зона отбела) [3–5]. Ввиду того, что стоимость таких материалов высока (обычно 12000...18000 р/кг), определение оптимального химического состава сварочного материала, обеспечивающего гарантированное качество сварного соединения при меньшей стоимости, по сравнению с другими, является актуальной задачей.

В работе проведены исследования свариваемости ВЧШГ следующими материалами в виде покрытых электродов диаметром 2,5...3,0 мм (табл. 2). Процесс ручной дуговой сварки. Сварка

производилась на одинаковых режимах во всех случаях: Сила тока: 110...120 А, напряжение на дуге: 20...22 В, скорость сварки: 0,64...0,66 м/ч. Использовался чугун марки ВЧ 40 толщиной 8 мм. Применялся предварительный подогрев свариваемых деталей до температуры 300 °С.

Для оценки качества сварного соединения проводились металлографические исследования: подготовка образцов в виде реза из зоны сварного соединения с последующим шлифованием, полированием травлением исследуемой поверхности в 5 %-ном растворе азотной кислоты в спирте. При анализе структуры полученных соединений определялось наличие (отсутствие) трещин в ЗТВ, появление зоны отбела и (или) мартенсита.

Химический состав и стоимость электродов для сварки чугуна, использованных в исследованиях

Марка материала	Химический состав, масс %				Средняя стоимость, руб/кг
	Fe	Ni	B	S, P суммарно не более	
CAST Ni Fe B	18...20	75...77	0,7...1,0	0,05	11800
SUPER Ni	-	99	-	0,04	22800
GEKATEK Fe-CAST	35...37	62...64	0,05...0,07	0,05	12600
OK 92,18	3,5	92	-	0,05	19240
OK 92,60	44	55	0,8...1	0,045	9800
UTP 85 FN	45	54	-	0,045	11400

Ниже (рис. 1–7), приведены результаты исследований. Ввиду наличия в составе металла сварного шва преобладающего содержания никеля, во всех случаях выявлено: зона сварной ванны – нетравящаяся зона, в которой видны следы графитовых включений (в виде мелких черных точек, расположенных ближе к зоне термического влияния), являющихся следствием диффузии углерода из основного металла в металл сварного шва. При сварке электродами, в составе наплавленного металла которых присутствует железо (рис. 2, 4, 6, 7), переходная зона сварного соединения представляет собой участки с перлитной структурой и включениями графита неправильной шаровидной формы. Также видна четкая граница между сварочной ванной и основным металлом. Основным металлом представляет собой чугун на ферритной основе с графитовыми

включениями неправильной шаровидной формы. В переходной зоне сварного соединения без явно выявленной зоны термического влияния наблюдаются включения цементита. В зоне сплавления металла сварного шва с основным металлом соединений, выполненных электродами ОК 92,60 и UTP 85 FN наблюдаются участки ледебурита (рис. 6, 7).

В сварных соединениях, выполненных электродами на основе никеля (рис. 3, 5), в структуре основного металла шаровидный графит на ферритной основе. В переходной зоне находятся частично диссоциированные включения графита и перлит. В зоне сварочной ванны аустенитная структура с неметаллическими включениями. Дефектов в виде трещин или зоны отбела выявлено не было.

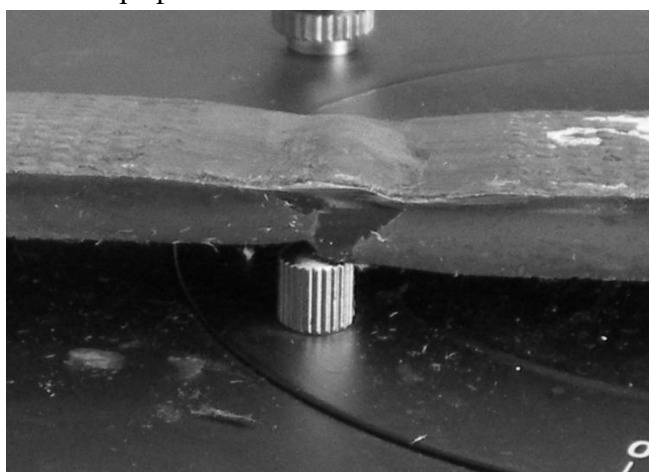


Рис. 1. Общий вид сварного соединения



x100

Рис. 2. Микроструктура сварного соединения (сварной шов справа), выполненного электродами CAST Ni Fe B



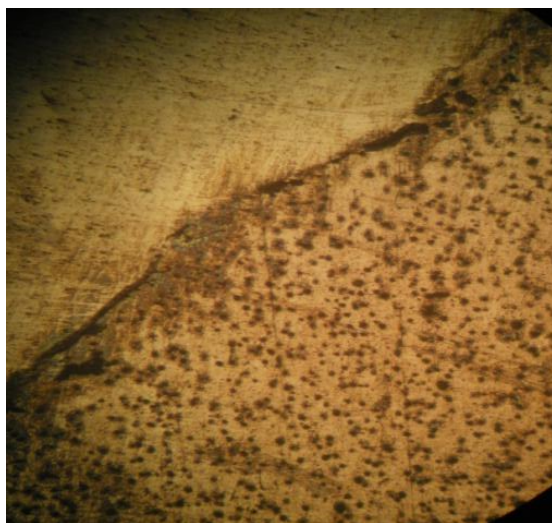
x100

Рис. 3. Микроструктура сварного соединения (сварной шов сверху), выполненного электродами SUPER Ni



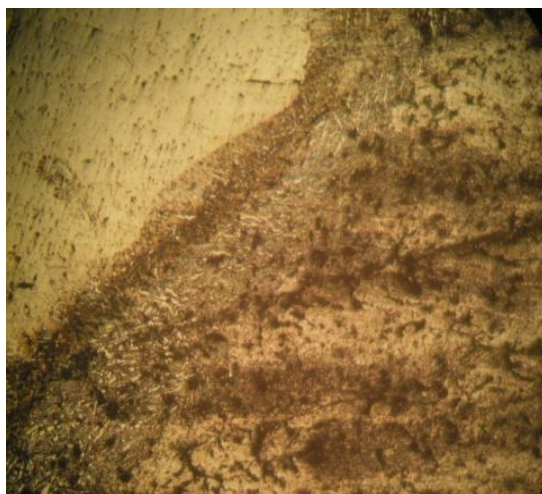
x100

Рис. 4. Микроструктура сварного соединения (сварной шов справа), выполненного электродами GEKATEK Fe-CAST



x100

Рис. 5. Микроструктура сварного соединения (сварной шов сверху), выполненного электродами ОК 92,18



x100

Рис. 6. Микроструктура сварного соединения (сварной шов слева), выполненного электродами ОК 92,60



x100

Рис. 7. Микроструктура сварного соединения (сварной шов слева), выполненного электродами UTP 85 FN

ВЫВОД

Таким образом, наиболее приемлемым сварочным материалом для сварки изделий из ВЧШГ являются сплавы на основе никеля с добавлением железа до 20 % для уменьшения стоимости.

В данном случае это электроды CAST NiFeB. Обладая по сравнению с материалами с большим содержанием никеля заметно меньшей стоимостью, они позволяют получать качественные сварные

соединения. С увеличением содержания углерода стоимость сварочных материалов снижается, но при этом возможно возникновение ледебурита в зоне сплавления, что может привести к образованию трещин. В случае применения таких материалов рекомендуется увеличивать температуру предварительного подогрева до 500...600 °С, что не всегда возможно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сварка. Резка. Контроль: Справочник. В 2-х томах/Под общ. ред. Н.П. Алешина, Г.Г. Чернышова. – Москва : Машиностроение, 2004. Т1 . – 624с. – Текст : непосредственный.

2. Соколов, И.И. Газовая сварка и резка металлов /И.И. Соколов — Москва : Машиностроение, – 1975. – 317 с. – Текст : непосредственный.

3. Иванов, Б.Г. Сварка и резка чугуна / Б.Г. Иванов, Ю. И. Журавицкий, В.И. Левченков. – Москва : Машиностроение, 1977. – 208 с. – Текст : непосредственный.

4. Калинин, Н.К. Новое в сварке чугуна/ Н.К. Калинин, В.А. Метлицкий – Москва : Машиностроение, 1987. – 317 с. – Текст : непосредственный.

5. Неверов, В.В. Технологические особенности сварки труб и фасонных частей из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом/ В.В. Неверов, С.В. Лебедев, П.Н. Клевцов. – Текст : непосредственный // Вестник ЛГТУ. – 2019. – № 2 – С. 28–33.

6. Лившиц, Л.С. Металловедение сварки и термическая обработка сварных соединений / Л.С. Лившиц, А.Н. Хакимов. – Москва : Машиностроение, 1989. – 236 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Редичкина Татьяна Викторовна

инженер, старший преподаватель кафедры физического металловедения, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

Неверов Виктор Валентинович

кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования и процессов машиностроительных производств, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30.

Information about the authors:

Redichkina Tatiana Viktorovna

Engineer, Senior lecturer at the Department of Physical Metallology, Lipetsk State Technical University. 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.

Neverov Viktor Valentinovich

Candidate of Technical Sciences, Associate professor of the Departments of Equipment and Processes of Machine-building Industries, Lipetsk State Technical University. 398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st., 30. e-mail: viktor-neverov@mail.ru.

Клевцов Павел Николаевич

кандидат технических наук, доцент
кафедры оборудования и процессов
машиностроительных производств,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Лебедев Сергей Викторович

доктор технических наук, профессор
кафедры оборудования и процессов
машиностроительных производств,
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Klevtsov Pavel Nikolaevich

Candidate of Technical Sciences, Associate
professor of the Departments of Equipment
and Processes of Machine-building Industries,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

e-mail: klevtsov_weld@mail.ru

Lebedev Sergey Viktorinovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of
the Departments of Equipment and Processes
of Machine-building Industries,
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,
Moskovskaya st., 30.

e-mail: svarka_lip@mail.ru.

DOI 10.53015/30343275_2025_2_93

УДК 62-932.4

Д.А. ИВАНЫЧЕВ, Д.В. ЕЗДАКОВА, С.А. ПОНОМАРЕВ

**ПОСТРОЕНИЕ УПРУГОГО ПОЛЯ ДЛЯ АНИЗОТРОПНОГО ТЕЛА В УСЛОВИЯХ
НЕСИММЕТРИЧНОЙ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ УПРУГОСТИ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В работе представлена методика построения упругого поля для трансверсально-изотропного тела вращения в условиях второй основной задачи теории упругости в неосесимметричной постановке граничных условий. Заданные перемещения точек границы зависят от всех трех цилиндрических координат. Решение задачи проводилось методом граничных состояний. Приведена методика формирования базисов внутренних и граничных состояний. Назначены скалярные произведения в этих пространствах, исходя из теоремы Клапейрона. Проводится ортогонализация базисов состояний, и искомое состояние раскладывается в ряд Фурье по элементам ортонормированного базиса. Коэффициенты этих рядов есть квадратуры.

Приведено решение неосесимметричной второй основной задачи для кругового цилиндра из горной породы. Результат представлен в графическом виде.

Ключевые слова: метод граничных состояний, несимметричные задачи, тела вращения, вторая основная задача, пространства состояний.

MAPPING AN ELASTIC FIELD FOR AN ANISOTROPIC BODY UNDER THE CONDITIONS OF AN ASYMMETRICAL BOUNDARY PROBLEM OF ELASTICITY THEORY

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The paper presents a method of mapping an elastic field for a transversely isotropic body of revolution under the conditions of the second main problem of elasticity theory in a non-axisymmetric formulation of boundary conditions. The specified displacements of boundary points depend on all the three cylindrical coordinates. The problem was solved using the boundary state method. A method for forming bases of internal and boundary states is presented. Scalar products in these spaces are assigned based on the Clapeyron theorem. Orthogonalization of state bases is performed and the desired state is expanded into a Fourier series in terms of the elements of an orthonormal basis. The coefficients of these series are quadratures.

The solution of the non-axisymmetric second main problem for a circular cylinder made of rock is given. The result is presented graphically.

Keywords: boundary state method, asymmetric problems, bodies of revolution, second main problem, state spaces.

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается упругое равновесие трансверсально-изотропного

конечного и односвязного тела вращения с осью анизотропии, совпадающей с геометрической осью симметрии z (рис. 1).

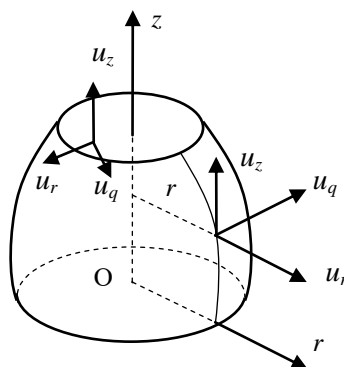


Рис. 1. Изолинии компонент полученного вектора перемещения

Требуется определить напряженно-деформированное состояние, возникающее в теле, по заданным на границе перемещениям $\mathbf{u} = \{u_r, u_\theta, u_z\}$. Тело занимает область V .

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Для решения задачи используется метод граничных состояний (МГС) [1]. Основу метода составляют пространства внутренних Ξ и граничных Γ состояний:

$$\Xi = \{\xi_1, \xi_2, \xi_3, \dots, \xi_k, \dots\};$$

$$\tilde{A} = \{\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \dots, \gamma_k, \dots\}.$$

Внутреннее состояние ξ_k

определяется наборами компонент вектора перемещений, теноров деформаций и напряжений:

$$\xi_k = \{u_i^k, \varepsilon_{ij}^k, \sigma_{ij}^k\}.$$

Граничное состояние γ_k

определяется наборами компонент вектора перемещения точек границы $\mathbf{u}_v = u_{vi}$ и поверхностными усилиями $\mathbf{p}_v = p_i$:

$$\gamma_k = \{u_{vi}^k, p_i^k\}; p_i^k = \sigma_{ij}^k n_j,$$

где n_j – компоненты нормали к поверхности тела.

Скалярное произведение в пространстве внутренних состояний выражает внутреннюю энергию упругого деформирования:

$$(\xi_i, \xi_j) = \int_V (\varepsilon_{ij}^i \sigma_{ij}^j) dV. \quad (1)$$

В пространстве граничных состояний Γ скалярное произведение выражает работу внешних сил на перемещениях точек границы:

$$(\gamma_1, \gamma_2) = \int_S p_i^1 u_{vi}^2 dS.$$

где S – поверхность тела.

В случае гладкой границы оба пространства состояний являются гильбертовыми и сопряжены изоморфизмом. Каждый элемент пространства внутренних состояний

$$p_i = \sum_{k=1}^{\infty} c_k p_i^k; u_i = \sum_{k=1}^{\infty} c_k u_i^k; \sigma_{ij} = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \sigma_{ij}^k; \varepsilon_{ij} = \sum_{k=1}^{\infty} c_k \varepsilon_{ij}^k. \quad (2)$$

В случае второй основной задачи коэффициенты Фурье представляют собой скалярное произведение:

$$c_k = \int_S \mathbf{p}_v^j \mathbf{u} dS, \quad (3)$$

где \mathbf{p}_v^j – базисные поверхностные усилия в пространстве граничных состояний.

ОБЩЕЕ РЕШЕНИЕ

Основной задачей в методе граничных состояний является формирование базиса внутренних состояний, который опирается на общее или фундаментальное решение для среды, также не исключено использование каких-либо частных решений. Методика формирования базиса внутренних состояний подробно описана в [4].

В работе [3] с помощью метода интегральных наложений установлена зависимость между пространственным напряженным и деформированным

взаимно однозначно соответствует каждому компоненту пространства граничных состояний. Это позволяет отыскание внутреннего состояния свести к изучению изоморфного ему граничного состояния.

После построения базисов пространств внутренних и граничных состояний, необходимо провести их ортонормирование. Ортонормирование осуществляется по разработанному алгоритму ортогонализации Грама-Шмидта [2]. Алгоритм в своей работе использует перекрестные скалярные произведения (1).

Окончательно проблема сводится к разрешающей системе уравнений относительно коэффициентов Фурье, разложения искомого внутреннего ξ и граничного γ состояний в ряд по элементам ортонормированного базиса:

состоянием упругого трансверсально-изотропного конечного тела без полостей и определенными вспомогательными двумерными состояниями (плоская деформация и депланация), компоненты которого зависят от двух координат z и y (переменных).

Переход к пространственному состоянию осуществляется по формулам (4) и (5), в работе [3] показаны только выражения для перемещений, здесь приведем выражения и для напряжений:

$$\begin{aligned}
u &= \sum_{n=a}^b [u_n \cos n\theta + u_n \sin n\theta]; \\
v &= \sum_{n=a}^b [-v_n \sin n\theta + v_n \cos n\theta]; \\
w &= \sum_{n=a}^b [w_n \cos n\theta + w_n \sin n\theta]; \\
u_n &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (u_y^{pl} + u_\eta^{pl}) \cos(n-1)\beta d\beta + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (u_y^{pl} - u_\eta^{pl}) \cos(n+1)\beta d\beta; \\
v_n &= \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (u_y^{pl} + u_\eta^{pl}) \cos(n-1)\beta d\beta - \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi (u_y^{pl} - u_\eta^{pl}) \cos(n+1)\beta d\beta; \\
w_n &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi u_z^{pl} \cos n\beta d\beta,
\end{aligned} \tag{4}$$

где a и b – пределы суммирования.

Соответственно для компонент тензора напряжений имеют место следующие выражения:

$$\begin{aligned}
\sigma_z &= \sum_{n=a}^b [\sigma_z^n \cos n\theta + \sigma_z^n \sin n\theta]; \quad \sigma_r = \sum_{n=a}^b [\sigma_y^n \cos n\theta + \sigma_y^n \sin n\theta]; \\
\sigma_\theta &= \sum_{n=a}^b [\sigma_\eta^n \cos n\theta + \sigma_\eta^n \sin n\theta]; \quad \sigma_{zr} = \sum_{n=a}^b [\sigma_{zy}^n \cos n\theta + \sigma_{zy}^n \sin n\theta]; \\
\sigma_{r\theta} &= \sum_{n=a}^b [\sigma_{y\eta}^n \cos n\theta - \sigma_{y\eta}^n \sin n\theta]; \quad \sigma_{z\theta} = \sum_{n=a}^b [\sigma_{z\eta}^n \cos n\theta - \sigma_{z\eta}^n \sin n\theta]; \\
S_1 &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sigma_z^{pl} \cos n\beta d\beta; \quad S_2 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\sigma_y^{pl} + \sigma_\eta^{pl}) \cos n\beta d\beta; \\
S_3 &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\sigma_y^{pl} - \sigma_\eta^{pl} + 2\sigma_{y\eta}^{pl}) \cos(n-2)\beta d\beta; \\
S_4 &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\sigma_y^{pl} - \sigma_\eta^{pl} - 2\sigma_{y\eta}^{pl}) \cos(n+2)\beta d\beta; \\
S_5 &= \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\sigma_{zy}^{pl} + \sigma_{z\eta}^{pl}) \cos(n-1)\beta d\beta; \quad S_6 = \frac{1}{\pi} \int_0^\pi (\sigma_{zy}^{pl} - \sigma_{z\eta}^{pl}) \cos(n+1)\beta d\beta; \\
\sigma_z^n &= S_1; \quad \sigma_y^n = (2S_2 + S_3 + S_4)/4; \quad \sigma_{zy}^n = (S_5 + S_6)/2; \\
\sigma_\eta^n &= (2S_2 + S_3 + S_4)/4; \quad \sigma_{z\eta}^n = (S_5 - S_6)/2; \quad \sigma_{y\eta}^n = (S_3 - S_4)/4.
\end{aligned} \tag{5}$$

Здесь компоненты с верхним индексом pl соответствуют компонентам плоского вспомогательного состояния.

В качестве плоских вспомогательных состояний используется

плоская деформация и депланация, возникающие в сечениях цилиндра, имеющего в каждой точке плоскость упругой симметрии, параллельную

плоскости zy (направление $\eta \perp$ плоскости zy) [3]:

$$\begin{aligned} u_y^{pl} &= \text{Re}[iq_1\varphi_1(\zeta_1) + iq_2\varphi_2(\zeta_2)]; \\ u_z^{pl} &= \text{Re}[p_1\varphi_1(\zeta_1) + p_2\varphi_2(\zeta_2)]; \\ \sigma_z^{pl} &= -\text{Re}[\gamma_1^2\varphi_1'(\zeta_1) + \gamma_2^2\varphi_2'(\zeta_2)]; \\ \sigma_y^{pl} &= \text{Re}[\varphi_1'(\zeta_1) + \varphi_2'(\zeta_2)]; \\ \sigma_{zy}^{pl} &= -\text{Re}[\gamma_1\varphi_1'(\zeta_1) + \gamma_2\varphi_2'(\zeta_2)]; \\ \sigma_{z\eta}^{pl} &= \text{Re}[i\gamma_3\varphi_3(\zeta_3)]; \quad \sigma_{y\eta}^{pl} = -\text{Re}[\varphi_3(\zeta_3)]; \\ \sigma_\eta^{pl} &= \nu_r\sigma_y^{pl} + \nu_z\frac{E_r}{E_z}\sigma_z^{pl}, \end{aligned} \quad (6)$$

где константы q_i , p_i и γ_3 определены упругими параметрами материала; $\zeta_j = z/\gamma_j + iy$; γ_1 и γ_2 – комплексные корни характеристического уравнения [3];

функции $\varphi_j(\zeta_j)$ – аналитические по своим переменным.

Придавая функциям $\varphi_j(\zeta_j)$ поочередно значения:

$$\begin{pmatrix} \varphi_1(\zeta_1) \\ \varphi_2(\zeta_2) \\ \varphi_3(\zeta_3) \end{pmatrix} \in \left\{ \begin{pmatrix} \zeta_1^m \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ \zeta_2^m \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ \zeta_3^m \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} i\zeta_1^m \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ i\zeta_2^m \\ 0 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ i\zeta_3^m \end{pmatrix}, \dots \right\}, \quad m \in N,$$

можно сгенерировать набор плоских вспомогательных состояний (6) и по зависимостям (4) и (5) построить совокупность пространственных состояний, образуя базис пространства внутренних состояний.

Далее вычисляются коэффициенты Фурье (3) и формируется решение (2).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Исследовано упругое равновесие трансверсально-изотропного кругового в плане цилиндра из горной породы алевролита крупного темно-серого [5]. Безразмерные упругие характеристики материала: $E_z = 6.21$; $E_r = 5.68$;

$$G_z = 2.55; \quad \nu_z = 0.22; \quad \nu_r = 0.24.$$

Область цилиндра

$$V = \{(z, r) \mid 0 \leq r \leq 1, -1 \leq z \leq 1\}.$$

Граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} \mathbf{u}|_{S_1} &= \{\sin 2\theta, 0, 0\}, \quad S_1 \mid r = 0, -1 \leq z \leq 1; \\ \mathbf{u}|_{S_2} &= \{r \sin 2\theta, 0, 0\}, \quad S_2 \mid z = -1, 0 \leq r \leq 1; \\ \mathbf{u}|_{S_3} &= \{r^3 \sin 2\theta, 0, 0\}, \quad S_3 \mid z = 1, 0 \leq r \leq 1; \end{aligned}$$

Для решения задачи потребовался базис внутренних состояний из 70 элементов. Решение имеет громоздкий вид и в явном виде необозримо. Компоненты

вектора перемещения в сечении $\theta = \pi/4$ представлены в виде изолиний, рис. 2. В изолиниях: θ – угол сечения, κ – масштабный коэффициент (значение на изолиниях надо умножить на κ).

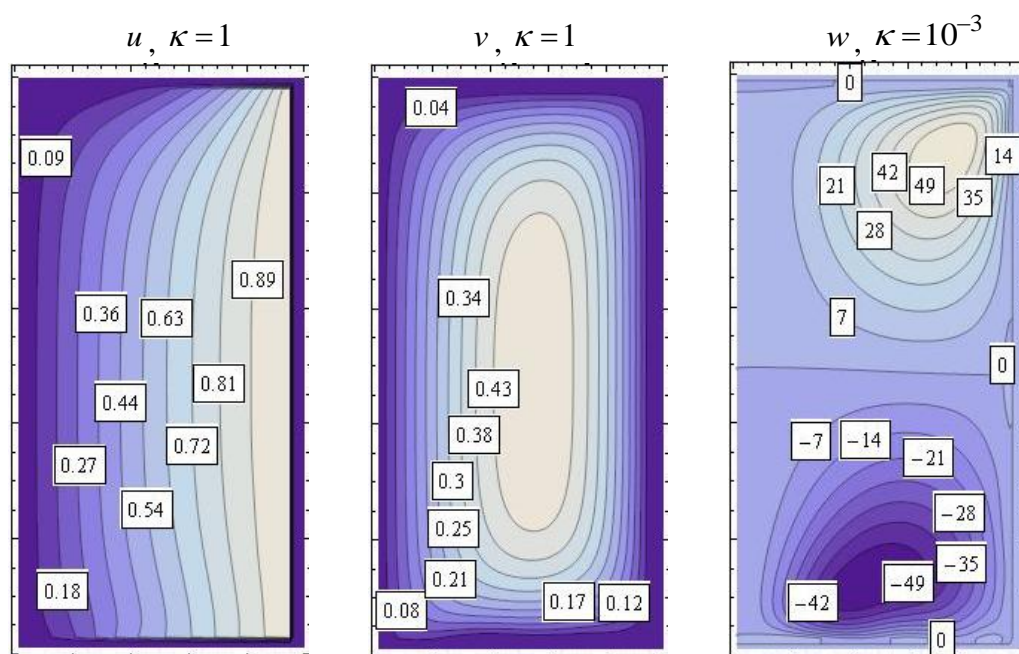


Рис. 2. Изолинии компонент полученного вектора перемещения

Полученные компоненты упругого поля удовлетворяют всем уравнениям теории упругости для трансверсально-изотропного тела [3].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пеньков, В.Б. Метод граничных состояний для решения задач линейной механики / В.Б.Пеньков, В.В. Пеньков. – Текст : непосредственный // Дальневосточный математический журнал. – 2001. – Т.2, № 2. – С. 115–137.
2. Саталкина, Л.В. Наращивание базиса пространства состояний при жестких ограничениях к энергоемкости вычислений / Л.В. Саталкина. – Текст : непосредственный // Сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. – Липецк : ЛГТУ, 2007. – С. 130–131.
3. Александров, А.Я. Пространственные задачи теории упругости (применение методов теории функций комплексного переменного) / А.Я. Александров, Ю.И. Соловьев. – Москва : Наука, 1978. – 464 с. – Текст : непосредственный.
4. Иwanyчев, Д.А. Решение неосесимметричной задачи эластостатики / Сведения об авторах:

По схожей методике были решены неосесимметричные первая основная задача теории упругости [6] и основная смешанная задача [7].

для трансверсально-изотропного тела вращения / Д.А. Иwanyчев. – Текст : непосредственный // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки, 2022. – № 2(101). – С. 4–21. DOI: 10.18698/1812-3368-2022-2-4-21.

5. Лехницкий, С.Г. Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. – Москва : Наука, 1978. – 464 с. – Текст : непосредственный.

6. Иwanyчев, Д.А. Решение смешанной неосесимметричной задачи теории упругости для анизотропных тел вращения / Д.А. Иwanyчев. – Текст : непосредственный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2022. – № 2. – С. 85–97.

7. Иwanyчев, Д.А. Моделирование напряженного состояния твердых тел от несимметричного воздействия нагрузки // Д.А. Иwanyчев. – Текст : непосредственный // Вестник Липецкого государственного технического университета. – 2022. – № 1(47). – С. 87–94.

Иwanyчев Дмитрий Алексеевич

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры общей механики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.

Ездакова Диана Владимировна
аспирант кафедры общей механики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
Baskach-di@mail.ru

Пономарев Степан Андреевич
аспирант кафедры общей механики,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
xotab.ss@yandex.ru

Ivanychev Dmitry Alekseevich
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences,
Associate Professor of the Department
of General Mechanics,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
kaf-om@stu.lipetsk.ru

Ezdakova Diana Vladimirovna
Postgraduate student
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
Baskach-di@mail.ru

Ponomarev Stepan Andreevich
Postgraduate student of the Department
of General Mechanics,
Lipetsk State Technical University.
398055, Lipetsk, Moskovskaya st., 30.
xotab.ss@yandex.ru

Information about the authors:

К СВЕДЕНИЮ АВТОРОВ

В журнале «Вестник Липецкого государственного технического университета» публикуются статьи, содержащие наиболее существенные результаты научно-технических экспериментальных исследований, а также итоги работ проблемного характера.

Статья должна поступить на электронный адрес vm@stu.lipetsk.ru и сохранена в версии Microsoft Word 2003. Рукопись статьи (1 экземпляр) и сопроводительные документы должны быть высланы в редакцию. К сопроводительным документам относятся:

- рецензия, отражающая следующие пункты: актуальность представленной работы; характеристику объекта исследования; качество постановки целей работы и задач исследования; степень научной новизны исследования, практическую значимость работы; учебно-методическую ценность исследования, стиль изложения; степень разработанности темы научного исследования; структурность работы. (В случае если один из авторов является доктором наук, рецензия должна быть подписана доктором соответствующего профиля);

- выписка из протокола заседания кафедры, на котором было принято решение о рекомендации публикации статьи в журнал «Вестник Липецкого государственного технического университета»;

- согласие на публикацию и гарантии того, что статья не будет больше нигде опубликована, подписанные автором.

Оформление статьи должно соответствовать следующим требованиям:

1. На первой странице должны быть указаны: УДК, название статьи, инициалы и фамилии авторов, название учреждения, представляющего рукопись для опубликования.

2. Текст статьи набирается в формате *.doc шрифтом Times New Roman размером 12 pt через одинарный интервал, без отступов, отступ красной строки 0,5 см, выравнивание по ширине, без уплотнения. Поля: верхнее, нижнее, левое, правое – 2 см, в две колонки. Не использовать табуляций, автоматических списков. Не использовать курсив, жирный текст и подчеркивания.

Между цифровым значением величины и ее размерностью следует ставить знак неразрывного пробела. Переносы в словах не употреблять. Не использовать в тексте для форматирования знаки пробела.

3. Для набора формул применять редактор Microsoft Equation 3.0. Формулы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, без курсива, размером 12 pt, с одинарным интервалом.

Большие формулы необходимо разбивать на отдельные части. Фрагменты формул должны быть независимы (при использовании редактора формул каждая строка – отдельный объект).

Нумерацию и знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

4. Таблицы должны быть оформлены шрифтом Times New Roman, размером 12 pt, с одинарным интервалом. В случае если в тексте есть ссылка на таблицу, то пишется слово «табл.».

5. Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте. Библиографический список должен быть оформлен согласно ГОСТ 7.0.100-2018. Ссылки на библиографический список в тексте приводятся в квадратных скобках. Перечень литературных источников должен содержать не менее 15 наименований.

6. Обозначения, термины и иллюстративный материал должны соответствовать действующим государственным стандартам.

7. К статье прилагаются: аннотации (200–250 слов); ключевые слова (не менее трех); имена и фамилии авторов, ученые звания, должности и адрес места работы, электронный адрес; на английском языке название статьи, аннотация, ключевые слова, имена и фамилии авторов.

Ю.Н. РИЗАЕВА, В.А. ЛОГИНОВ

ПЛАНИРОВАНИЕ ПОСТАВОК ПРОДУКЦИИ ПРИ ИЗМЕНЯЮЩЕМСЯ ВО ВРЕМЕНИ СПРОСЕ ПОТРЕБИТЕЛЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к планированию поставок продукции. Предложен алгоритм сокращения потерь у потребителя и производителя при изменяющемся во времени спросе потребителя. Акцент сделан на современные требования в развитии отрасли за счет совершенствования планирования деятельности предприятий по показателям, которые являются функцией от спроса. Применение нового подхода к планированию поставок продукции заключается в учете изменяющегося во времени спроса потребителя. Математическое моделирование выполняется применительно к реальным эксплуатационным условиям. Планирование реализуется за счет разработанной математической модели и методики, направленных на сокращение общесистемных потерь. Применение разработанного подхода в практике работы предприятий позволит формировать общесистемные потери и использовать новое программное обеспечение для разработки и принятия управленческих решений.

Ключевые слова: поставка продукции, спрос, потери потребителя, потери производителя, планирование поставок продукции.

Yu.N. RIZAEVA, V.A. LOGINOV

SUPPLY PLANNING AT TIME-VARYING CONSUMER DEMAND

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses approaches to product supply planning. An algorithm is proposed for reducing consumer and producer losses at time-varying consumer demand. Modern requirements are emphasized in the industry development by improving production planning according to indicators that are a function of demand. The new approach to supply planning is manifested in taking into account the time-varying consumer demand. Mathematical modeling is performed with respect to real operating conditions. Planning is implemented through the developed mathematical model and methodology aimed at reducing system-wide losses. The practical application of the developed approach will form system-wide losses and use new software to develop and make managerial decisions.

Keywords: product supply, demand, consumer losses, producer losses, product supply planning.

ВВЕДЕНИЕ

Рассмотрим процесс производства и поставки продукции в дискретные моменты времени $t=0,1, \dots, T$,

где T – период планирования [1, 2].

Спрос потребителя на продукцию в эти моменты времени задан и определяется функцией $q(t)$. Обозначим неизвестный размер поставки в момент времени как $x(t)$. При несовпадении поставки $x(t)$ и спроса $q(t)$ возникают общесистемные потери. При дефиците, то есть когда

$$d(t)=x(t)-q(t)<0 ,$$

общесистемные потери обуславливаются неудовлетворенностью спроса [3–5]. При превышении поставки над спросом, когда $d(t)>0$, потери вызваны дополнительными затратами на хранение избытка продукции.

Так как потери от превышения объема поставки продукции над спросом $d(t)>0$ меньше, чем потери от дефицита $d(t)<0$, то при одинаковом значении разности (в абсолютном значении) d , график функции потерь $f_1(d)$ будет иметь вид, как на рис. 1 (потери прямо пропорциональны разности d).

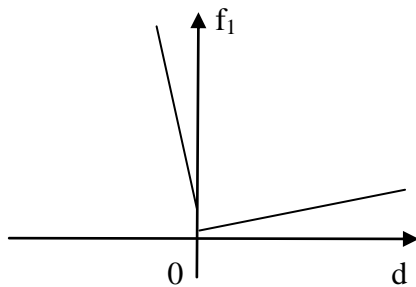


Рис. 1. График функции потерь потребителя

Функциональную зависимость, представленную на рис. 1, аппроксимируем:

$$f_1(d)=\begin{cases} a_1 d, & \text{если } d \geq 0 \\ b_1 d, & \text{если } d \leq 0 \end{cases}, \quad (1)$$

где a_1 и b_1 – удельные потери потребителя на единицу продукции. При этом $b_1 > a_1 > 0$.

Для поставщика продукции желательна постоянная интенсивность производства, то есть $x(t) = \text{const}$, когда

$$u(t)=x(t+1)-x(t)=0 .$$

В случае $u(t)>0$ или $u(t)<0$ производитель несет потери из-за перестройки производства. Функция потерь производителя имеет вид, показанный на рис. 2.

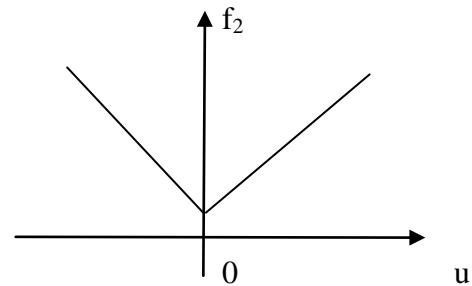


Рис. 2. График функции потерь производителя

В аналитическом виде аппроксимируем эту функцию в виде

$$f_2(u)=\begin{cases} a_2 u, & \text{если } u \geq 0 \\ b_2 u, & \text{если } u \leq 0 \end{cases}, \quad (2)$$

где a_2 и b_2 – удельные потери производителя на единицу продукции. Величины коэффициентов зависят от конкретных условий производства. Ясно только, что $a_2 > 0$, $b_2 > 0$ [6, 7].

Сформулируем задачу планирования поставки продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя: найти функцию поставки продукции $x(t)$, $t=1,2, \dots, T$, и динамику изменения этого объема поставки

$$u(t)=x(t+1)-x(t), \quad t=1,2, \dots, T-1 ,$$

чтобы минимизировать суммарные потери потребителя в течение планового периода T .

ВЫВОДЫ

Исходя из проведенного исследования, можно сделать вывод о возможности применения данного алгоритма в планировании поставок продукции при изменяющемся во времени спросе потребителя, при этом общесистемные потери сокращаются. Результаты исследования предназначены для практики работы предприятий на этапе определения показателя общесистемных потерь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Логинов, В.А.** Устойчивость развития транспортных систем / В.А. Логинов, А.К. Карташова. – Текст : непосредственный // Тенденции развития современной науки : сборник тезисов докладов научной конференции студентов и аспирантов Липецкого государственного технического университета. В 2-х частях. Часть 1. – Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2017. – С. 538–541.
2. **Быстров, Н.В.** Обзор современных мировых тенденций развития асфальтобетонов / Н.В. Быстров. – Текст : непосредственный // Дороги России. – 2020. – № 1 (115). – С. 90–95.
3. Интеллектуальные методы управления транспортными системами (2- изд.) / А.С. Сысоев, С.А. Ляпин, А.В. Галкин [и др.]. – Москва : Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2022. – 192 с. – Текст : непосредственный.

Сведения об авторах:

Ризаева Юлия Николаевна

доктор технических наук, заведующий кафедрой управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Логинов Владимир Анатольевич

кандидат экономических наук, доцент кафедры управления автотранспортом, Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

v_loginov@lipetsk.ru

Information about the authors:

Rizaeva Yulia Nikolaevna

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Vehicle Management, Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

rizaeva.u.n@yandex.ru

Loginov Vladimir Anatolyevich

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Vehicle Management,

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

v_loginov@lipetsk.ru

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

**Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)**

№ 2 (59) 2025 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Scientific and technical journal «Vestnik LSTU»

Регистрационный номер средства массовой информации Эл № **ФС77-87639**.

Зарегистрировано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор) 25.06.2024 г.

Выходит 4 раза в год.

Учредитель: ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет».

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Адрес редакции: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Телефон: (4742) 32-81-33.

Липецкий государственный технический университет.

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Редактор: Е.А. Федюшина

Перевод (англ.) Н.В. Барышев

Дата подписания к использованию 16 мая 2025 года