

ISSN 3034-3275

Вестник

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

16+

**№ 1(62)
2026**

ISSN 3034-3275

ВЕСТНИК

Липецкого государственного технического университета
(Вестник ЛГТУ)

№ 1 (62) 2026.

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)

№ 1 (62) 2026.

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
ИНФОРМАТИКА,
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

**CONTENTS
COMPUTER SCIENCES, COMPUTER
ENGINEERING AND CONTROL**

<i>СТР.</i>		
5	С.Б. Румовская, С.В. Листопад Интеграция решений в естественных и искусственных коллективах специалистов	S.B. Rumovskaya, S.V. Listopad Integration of solutions in natural and artificial teams
16	Д.А. Баранов, В.Ф. Барабанов Механизм селективного применения штрафных функций в эволюционных алгоритмах для задач целочисленной условной оптимизации	D.A. Baranov, V.F. Barabanov Mechanism of selective application of penalty functions in evolutionary algorithms for integer conditional optimization problems
23	И.А. Седых, Н.С. Насонов Семантический поиск научных публикаций с использованием внешнего цитирования	I.A. Sedykh, N.S. Nasonov Semantic search of scientific publications using external citations
30	М.Ю. Шишов, Р.Н. Белокопытов, Е.С. Дуванов Сравнительный анализ эффективности программной реализации автоматизированных сдвижных ворот на различных платформах программируемых логических контроллеров	M.Y. Shishov, R.N. Belokopytov, E.S. Duvanov Comparative analysis of the effectiveness of software implementation of automated sliding gates on different platforms of programmable logic controllers
38	Ю.А. Цыганков, А.А. Владимиров, А.И. Шаповалов, Е.А. Кудинов Предпосылки разработки мобильного комплекса электроискровой обработки с интеллектуальным модулем обеспечения качества покрытия	Yu.A. Tsygankov, A.A. Vladimirov, A.I. Shapovalov, E.A. Kudinov Prerequisites for developing a mobile electric spark processing complex with an intelligent coating quality module
	ТРАНСПОРТ И ЛОГИСТИКА	TRANSPORT AND LOGISTICS
45	Е.А. Бойко, Н.З. Бойко, З.У. Болоташвили Причины возникновения дорожно- транспортных происшествий в нашей стране и рекомендации по снижению риска их возникновения	E.A. Boyko, N.Z. Boyko, Z.U. Bolotashvili Reasons for road accidents in our country and recommendations for reducing the risk of accidents

МЕТАЛЛУРГИЯ

- 54 **В.Н. Титов, И.В. Куприянова,
Т.В. Кравченко**
Влияние изменения качественных характеристик агломерата на удельный расход кокса и производительность доменной печи

- 62 **А.А. Шипельников,
А.Н. Роготовский, С.А. Кашкаров**
Совершенствование технологии производства высоколегированных чугунов для литых заготовок погружных насосов

МАШИНОСТРОЕНИЕ

- 73 **И.А. Пугачев, А.И. Володин,
Н.Ю. Кретинин**
Технология получения износостойких структур сменных органов почвообрабатывающего оборудования

- 81 К сведению авторов
82 Пример оформления статьи для публикации в журнале

METALLURGY

- V.N. Titov, I.V. Kupriyanova,
T.V. Kravchenko**
Influence of changes in the sinter quality indicators on the specific coke consumption and blast furnace productivity

- A.A. Shipelnikov, A.N. Rogotovskiy,
S.A. Kashkarov**
Improving the production technology of high-alloy cast irons for submersible pulser castings

MACHINE-BUILDING

- I.A. Pugachev, A.I. Volodin,
N.Y. Kretinin**
Technology of obtaining wear-resistant structures of tillage equipment tools

DOI 10.53015/30343275_2026_1_5

УДК 004.8

С.Б. РУМОВСКАЯ, С.В. ЛИСТОПАД

**ИНТЕГРАЦИЯ РЕШЕНИЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ
КОЛЛЕКТИВАХ СПЕЦИАЛИСТОВ**

Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук, Калининград

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к интеграции мнений (решений) в коллективах специалистов – естественных и искусственных (автоматизированная и автоматическая интеграция). Коллективное решение не может быть отнесено к какому-либо отдельному лицу, являющемуся членом группы, так как все его члены, а также коллективные процессы в нем, вносят свой вклад в конечный результат. Рассмотрение проблем коллективом позволяет уточнить формулировку проблемы в процессе обсуждения, взглянуть на проблему с разных точек зрения, учесть интересы всех сторон, а также потенциально достичь синергетического эффекта в виде неочевидных решений высокого качества, полученных в результате комбинирования знаний и подходов к решению проблем разных участников. Разработка искусственных коллективов позволяет моделировать инструментарию для работы с НЕ-факторами (неоднородность, нечеткость, недоопределенность), присущими естественным коллективам, что делает их релевантными автоматизированными средствами решения практических проблем.

Ключевые слова: естественный и искусственный коллективы, индивидуальные решения, интеграция решений.

S.B. RUMOVSKAYA, S.V. LISTOPAD

INTEGRATION OF SOLUTIONS IN NATURAL AND ARTIFICIAL TEAMS

Kaliningrad Branch of the Federal Research Center
“Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences, Kaliningrad

Abstract: The article examines approaches to integrating opinions (decisions) in teams – both natural and artificial (automated and automatic integration). A team decision cannot be attributed to one individual who is a member of the team because all the team members, as well as the team processes in it, contribute to the final result. When a team examines a problem, the problem statement can be clarified during the discussion, the problem can be viewed from different perspectives, the interests of all parties are considered, and a synergistic effect can potentially be achieved in the form of non-obvious, high-quality solutions obtained by combining the knowledge and problem-solving approaches of different participants. The development of artificial teams makes it possible to model toolkits to work with non-factors (non-homogeneity, non-clearance (fuzziness), non-definiteness) inherent in natural teams, which will turn them into relevant automated tools for solving practical problems.

Keywords: natural and artificial teams, individual decisions, integration of decisions.

ВВЕДЕНИЕ

Естественный коллектив (коллектив специалистов) рассматривается как организованная группа до 10 человек с общими ценностями, целями и задачами, межличностные отношения в которой опосредуются общественно ценным и лично значимым содержанием совместной деятельности [1]. При формировании коллективного решения в одних случаях важно избавиться от негативных эффектов чрезмерной сплоченности членов коллектива, а в других – обеспечить согласование и интеграцию существенно различающимися мнениями специалистов, не имеющих опыта взаимодействия друг с другом.

Существуют различные подходы к структурированию процесса решения проблем коллективом специалистов. В настоящем исследовании мы опираемся на модель ромба группового принятия решений С. Кейнера [2], в рамках которой он выделяет стадии: дивергентного мышления (ДМ) – формирование множества подходов к решению проблемы, в том числе нестандартных; зоны дискомфорта (ЗД) – попытки членов коллектива совместить разнообразные идеи со своими собственными; конвергентного мышления (КМ) – оформление ценных мыслей в конкретные предложения и их «шлифовка», выработка итогового решения, воплощающего все разнообразие точек зрения членов коллектива.

Искусственный коллектив – система компьютерных моделей рассуждений специалистов, интегрирующая их разнообразные знания и способная имитировать как отдельные линии рассуждений, так и интеграцию частных мнений в общее решение [3].

В настоящей работе представлены результаты анализа подходов к интеграции решений (мнений) в естественных и искусственных коллективах.

ИНТЕГРАЦИЯ РЕШЕНИЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ КОЛЛЕКТИВАХ

Основные подходы для естественных коллективов рассмотрим с учетом стадии их применения согласно модели С. Кейнера [2]. Основная деятельность по интеграции

решений в соответствии с данной моделью производится на стадиях ЗД и КМ. Однако отдельные методы стадии ДМ также предполагают неявную интеграцию при условии высокой сплоченности коллектива – учет мнения коллег в собственных рассуждениях. Наиболее известные подходы к организации ДМ:

- мозговой штурм и его вариации (синектика, «шесть идей в одну идею» и другие) [4] – создание множества предложений в творческом, неструктурированном виде с целью получения большого числа идей за короткий промежуток времени;

- метод пула мозговой записи – анонимный обмен идеями с помощью множества бланков (пул) между членами коллектива. Каждый специалист может вдохновиться новыми идеями из пула, что позволяет специалистам обмениваться мнениями и стимулирует их к более частым обсуждениям. Собрание продолжается до тех пор, пока каждый бланк не будет заполнен каждым специалистом [5];

- метод интеллект-карт [6] – способ визуализации идей, предложений и связей между ними в виде наглядной схемы.

В ЗД члены коллектива прикладывают усилия для достижения взаимопонимания, учета точек зрения и интересов друг друга. Основные методы [4]:

- уточнение позиций с помощью вопросов [2] – поочередное выступление специалистов с трехминутными докладами. После доклада выступающему задаются вопросы тремя участниками. Если задавший вопрос не понял объяснение, то он излагает то, что ему понятно, и указывает на неясные моменты;

- «взгляд с другой стороны» [2] – инициация групповой дискуссии путем оппонирования. Каждому специалисту случайным образом определяются два оппонента. Они говорят ему по одной фразе, которая начинается со слов «на вашем месте...». Выслушав оппонентов, специалист отвечает на их предложения. Коллективное обсуждение вновь высказанных предложений начинается, когда каждый эксперт выслушает своих оппонентов и ответит им;

– от решений к потребностям [2]. Специалисты пытаются понять цели и потребности друг друга, которые лежат в основе предлагаемых решений. Когда каждый будет удовлетворен тем, что его потребности полностью высказаны, новые предложения, учитывающие потребности всех участников, формулируются совместно;

– параллельное мышление [7] – поочередное использование шести метафорических шляп разных цветов, каждой из которой соответствует определенный тип мышления. При выборе белой шляпы выполняется представление всей информации, качество которой должно быть отражено докладчиками. Красная шляпа – выражение эмоций и интуитивных догадок. Черная – критика, предостережение и анализ рисков. Желтая – поиск логически обоснованных положительных сторон, полезных свойств и путей осуществления задуманного. Зеленая – для творческих усилий и дивергентного мышления. Синяя – для управления мыслительным процессом.

На стадии КМ специалисты совместно сокращают число решений, при необходимости корректируя оставшиеся, чтобы учесть положительные стороны решений, исключаемых из дальнейшего рассмотрения. Основные методы, релевантные данной стадии:

– поиск консенсуса [2] в ходе живой дискуссии – выработка решения, устраивающего всех. Для формирования коллективных предпочтений могут использоваться такие методы как присвоение весов, попарное сравнение, метод анализа иерархий и тайное мультиголосование [8];

– модифицированный метод Дельфи [9], который предполагает достижение консенсуса в коллективе без дискуссии лицом к лицу. Руководитель формирует общий список ранее высказанных решений и раздает его копии всем участникам, каждый из которых оценивает каждое решение или ранжирует их. Затем руководитель анализирует эти оценки: если они близки, процесс завершается, в противном случае, процесс продолжается, а

руководитель знакомит экспертов с ранее сформулированными решениями и оценками, раздавая новые бланки. Члены коллектива могут изменить свое мнение, указав его в полученном бланке. Руководитель вновь анализирует полученное и запускает новое заочное обсуждение, если оценки слишком разные;

– диаграмма сродства [8] для обнаружения значимых групп идей в необработанном списке. Решения записываются на отдельных карточках. Члены коллектива выбирают карточки, на которых перечислены связанные идеи, и откладывают их в сторону, формируя группу, пока все карточки не будут сгруппированы. Для каждой группы придумывается название или заголовок, описывающий ее наилучшим образом;

– «объединение – удаление – добавление – изменение» (англ. «combine – delete – add – modify», CDAM) [8] – решения, размещенные на карточках, логически группируются, после чего члены команды размещают карточки, которые отвечают одному и тому же решению и объединяют их в одно, приемлемое для всех. После исключения неперспективных решений, добавляются новые идеи, которые были упущены, и модифицируются оставшиеся;

– голосование [2]: участники коллектива в открытой или закрытой форме высказывают свои предпочтения относительно рассматриваемых альтернатив; каждый участник может выбрать одно или несколько решений либо ранжировать их в порядке предпочтения; выбирается альтернатива, получившая высшую суммарную оценку;

– жребий [2] – среди рассматриваемых решений выбирается одно случайным образом;

– лицо, принимающее решение, (ЛПР) возглавляет коллектив и принимает решение после обсуждения с другими членами коллектива [2], либо ЛПР берет на себя ответственность за принятие решения и выбирает альтернативу на свое усмотрение [2].

Достоинства и недостатки перечисленных методов представлены в табл. 1.

Методы коллективного рассуждений, обеспечивающие интеграцию решений (мнений) специалистов

Метод / стадия	Достоинства	Недостатки	Вероятность неявной интеграции
Мозговой штурм и его вариации / ДМ	Простой инструмент; возможность использования техник для организации коллективного мышления; генерация неочевидных решений	Низкая скорость; высокие интеллектуальные усилия участников; возможны негативные эффекты при высокой сплоченности	Высокая
Метод пула мозговой записи / ДМ	Анонимное обсуждение, исключение группового мышления; сравнительно высокая скорость решения проблем	Высокие интеллектуальные усилия; скорость достигается ограничением на число предлагаемых решений, что может снизить в итоге качество	Низкая
Метод ментальных карт / ДМ	Позволяет наглядно представить проблему	Не обеспечивает генерацию решений	Средняя
Уточнение позиций с помощью вопросов / ЗД	Простой инструмент	Большие временные затраты; вопросы могут восприниматься как критика	Высокая
«Взгляд с другой стороны» / ЗД	Дает экспертам ощущение взаимопонимания	Предложения оппонентов могут восприниматься как критика	Высокая
От решений к потребностям / ЗД	Упрощает выработку компромиссных решений; позволяет заинтересовать экспертов в дискуссии	Истинные потребности экспертов могут скрываться	Высокая
Параллельное мышление / ЗД	Низкие временные затраты; всесторонний анализ каждой идеи; снижается вероятность эгоистичного поведения	Необходим опытный коллектив для успешного применения метода	Средняя
Поиск консенсуса / КМ	Выбор жизнеспособных решений, при высокой цене ошибки; учет мнения меньшинства	Низкая скорость; высокие интеллектуальные усилия; возможны негативные эффекты при высокой сплоченности коллектива	Высокая
Модифицированный метод Дельфи / КМ	Аргументированный выбор согласованных решений; учет мнения меньшинства	Низкая скорость; высокие интеллектуальные усилия; мнение меньшинства может быть решающим	Низкая
Диаграмма сродства / КМ	Высокая скорость; обеспечивает группировку схожих решений и облегчает работу с ними	Сложность формирования групп; не обеспечивает окончательный выбор решения	Средняя

Метод / стадия	Достоинства	Недостатки	Вероятность неявной интеграции
CDAM / КМ	Обеспечивает сокращение числа потенциальных решений и облегчает дальнейшую работу с ними	Возможно исключение перспективных решений; не обеспечивает окончательный выбор решения	Высокая
Голосование / КМ	Баланс между длительным обсуждением и недостатком рассуждений; конкуренция идей создает необходимое напряжение	Игнорируется мнение меньшинства; голосование может быть неискренним	Высокая
Жребий / КМ	Высокая скорость	Не подходит, когда высока цена ошибки	Низкая
Выбор ЛПП после обсуждения / КМ	Решение принимает человек, способный реализовать решение; обеспечивает понимание проблемы ЛПП	Сложность и длительность согласования контрольных точек	Низкая
Выбор ЛПП без обсуждения / КМ	Высокая скорость; решение принимает человек, способный реализовать решение	Возможна иррациональность ЛПП; исполнители могут саботировать выполнение решения	Средняя

Обозначения: ЗД – зона дискомфорта, ДМ – дивергентное мышление; КМ – конвергентное мышление; ЛПП – лицо, принимающее решения; CDAM – «combine – delete – add – modify»

Сплоченность группы рассматривается как желание участников группы оставаться в ней и выполнять свои обязательства перед ней [10]. Обычно чем сплоченнее группа, тем лучше результаты ее работы. Выработка коллективных решений также тесно связана со сплоченностью. Основные ее модели: четырехфакторная модель сплоченности спортивной команды [11] (модель не универсальна и не имеет релевантного измерительного метода для всех групп); трех- и двухфакторные модели для рабочих групп [12–13]; микрогрупповая модель А.В. Сидоренкова [14]; модель Д. Картрайта [15] (подход ограничен из-за отсутствия операционализации и излишнего эмпиризма). Есть также стратометрическая концепция А.В. Петровского [16] – фундаментальная модель понимания сплоченности групп, которая рассмат-

ривается на трех уровнях: внешний – эмоциональные межличностные отношения; ценностно-ориентационное единство – отношения опосредованы совместной деятельностью и основаны на общих ценностях; ядро – члены группы разделяют цели деятельности и мотивы выбора друг друга, опосредованные общими ценностями. В сплоченной группе создается атмосфера внимательности и взаимной поддержки. Однако чрезмерная сплоченность имеет и свои недостатки. Участники группы могут отказаться от критического мышления из-за группового единомыслия и склонности быстро соглашаться друг с другом, не учитывая возможность ошибки. Это приводит к повышению конформности, инертности и консерватизму.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ И АВТОМАТИЧЕСКАЯ ИНТЕГРАЦИЯ РЕШЕНИЙ

Среди подходов к интегрированию знаний [9], которые обеспечивают моделирование коллективных рассуждений специалистов и интеграцию их решений, могут быть выделены следующие: доска объявлений, гибридная модель и многоагентная. Рассмотрим подробнее особенности каждого из них.

Модель доски объявлений [9] – подход к организации коммуникации между различными компонентами системы искусственного интеллекта по аналогии с методом «мозгового штурма». Знания, необходимые для решения проблемы, разделяются на источники знаний, которые хранятся отдельно и независимо. Данные о состоянии решения проблемы хранятся на доске. Источники знаний вносят изменения в доску, которые постепенно приводят к решению проблемы и реагируют на изменения в доске. Коммуникация и взаимодействие между источниками знаний происходят исключительно через доску.

В [17] модель доски объявлений используется для объединения экспертных систем и более традиционных методов решения проблем с целью моделирования эрозии почвы. В [18] предлагается гибридная модель доски объявлений для планирования процесса изготовления призматических деталей в условиях серийного производства. Модель использует рассуждения смешанного типа для обработки взаимодействий признаков: в прямом направлении – для формирования последовательностей признаков, в обратном направлении – для построения плана процесса. В [19] применяют архитектуру доски объявлений при построении гибридной системы рассуждений на основе прецедентов для моделирования распространения пожара в помещении. Технология многоагентных систем с использованием модели доски объявлений используется в [20] для системы поддержки принятия юридических решений в области польского дорожного права. Агенты в [20] представляют собой экспертов с различными алгоритмами и

источниками обработки знаний, взаимодействующих с применением доски для хранения фактов о текущем деле.

Гибридная модель предполагает интеграцию двух или более методов, реализованных в рамках различных интеллектуальных технологий (ИТ) [21, 22], для решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем, обработки разнородных данных и знаний, учета различных типов неопределенности с целью получения гибких и надежных решений [9, 23]. Традиционно [9, 24, 25] выделяются следующие классы гибридов в зависимости от степени интеграции интеллектуальных методов:

- автономные — из отдельных программных компонентов, не взаимодействующих между собой, каждый из которых решает поставленную ему задачу;

- трансформационные — отдельные программные компоненты не взаимодействуют напрямую, но результаты работы одного компонента применяются разработчиками при построении другого;

- слабосвязанные — программные системы, элементы которых взаимодействуют между собой посредством интерфейсов (просты в разработке, но менее производительны при использовании медленных интерфейсов);

- сильносвязанные — элементы взаимодействуют, обмениваясь информацией с использованием множества каналов, в том числе между отдельными частями разных элементов или общей памяти, что повышает их интерактивные возможности и скорость взаимодействия, но затрудняет разработку и сопровождение;

- полностью интегрированные — элементы реализуются с использованием единых моделей данных и представлений знаний, а связь между ними обусловлена двойственной природой используемых моделей. Рассуждения могут выполняться либо совместно в ходе однорангового взаимодействия, либо с применением компонента-контроллера.

Реальная интеграция ИТ выполняется только в последних трех классах гибридов,

для чего используются следующие методы [26]:

- гибридикация с взаимодействием или крупнозернистая (в смысле А. В. Колесникова [9]), когда несколько методов, реализованных в рамках различных ИТ, работают относительно независимо над решением различных частей общей проблемы, обмениваясь данными по мере необходимости. Такой подход актуален, если решаемая проблема может быть разделена на задачи, для каждой из которых существует релевантный ей метод;

- гибридикация с функциональной заменой или мелкозернистая (в смысле А. В. Колесникова [9]), когда отдельные функции одного метода, реализованного в рамках определенной ИТ, замещаются другим методом в рамках другой технологии или его частями. Цель — преодоление недостатков отдельных методов за счет наделения их сильными сторонами других;

- полиморфная гибридикация, при которой одна ИТ используется для имитации и реализации другой. Подобные гибриды применяют различные подходы к обработке информации в рамках одной архитектуры.

В [27] рассмотрен подход к разработке гибридных интеллектуальных информационных систем (ГИИС), основанный на использовании модулей сознания, подсознания и коммуникации для анализа судебной арбитражной практики. Разработке ГИИС семиотического типа посвящено исследование [28]. Вопросы разработки ГИИС на основе рекурсивной нейронной сети глубинного обучения поверх грамматических структур для обработки текста на естественном языке рассматриваются в [29]. В [30] анализируются проблемы построения моделей интуитивных решений в гибридных интеллектуальных системах.

Онтологический подход к проектированию гибридных семантически совместимых интеллектуальных систем применен в [31]. В [31] продемонстрированы возможности по автоматической интеграции различных моделей обработки знаний, составляющих коллективы агентов, которые

взаимодействуют между собой через общую память. ГИИС поддержки принятия решений на основе машинного обучения для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний представлена в [32]. Формализм гибридной интеллектуальной системы на основе темпоральных логических моделей и инженерии образов предложен в [33]. В [34] функциональная ГИИС с координацией применена для решения задачи оперативно-производственного планирования на машиностроительном предприятии с заказным, мелкосерийным характером производства. Исследование [35] посвящено вопросам применения методологии функциональных ГИИС для решения сложной задачи медицинской диагностики, в частности, диагностики артериальной гипертензии.

Многоагентная модель предполагает, что агент (специалист) обладает ограниченным, частичным пониманием проблемы, а решение проблемы возможно только за счет взаимодействия агентов [9]. Многоагентная система (МАС) – сетевая совокупность в разной степени самодостаточных, автономных объектов (агентов), способных получать, хранить, обрабатывать и передавать информацию как в интересах решения собственных, так и общих для группы объектов задач анализа и синтеза информации. В МАС части проблемы распределяются между агентами, каждый из которых играет свою роль и отвечает за определенный набор функций [9]. Для получения общего результата частные решения объединяются агентом-интегратором либо агентами системы в рамках однорангового взаимодействия путем достижения консенсуса. Технологии МАС применяются в компьютерных сетях, робототехнике, моделировании, управлении городской средой, интеллектуальных сетях и других виртуальных моделях.

В [36] разработана платформа для построения МАС, обеспечивающая семантическое взаимодействие агентов с использованием сообщений стандартных форматов, а также парных коммуникаций узлов сети. В [37] предложен подход к проектированию МАС с использованием эволюционных моделей и принципов

эволюционного проектирования. Работа [38] посвящена моделированию интуитивных решений методами МАС и распознаванию возможных последствий от реализации этих решений. В [39] рассматриваются вопросы моделирования целеполагания когнитивных агентов в динамических системах жесткого реального времени, когда решение должно быть принято в строго отведенном временном интервале, посредством введения логической системы (металогика знаний), формализующей метарассуждения интеллектуальных агентов о задачах и возможностях их решения с учетом

ограниченного ресурса времени. Работа [40] посвящена построению МАС для адаптивного управления ресурсами предприятий посредством модели сети потребностей и возможностей на основе виртуального рынка. В [21] совместно используются подход на основе ГИИС и многоагентный для решения сложной транспортно-логистической задачи путем моделирования метода пула мозговой записи.

Особенности рассмотренных подходов к интеграции решений в искусственных коллективах сведены в табл. 2.

Таблица 2

Модели интеграции решений в искусственных коллективах

Модель	Достоинства	Недостатки
Доска объявлений	Простота модели взаимодействия источников знаний, так как источники знаний не взаимодействуют напрямую, необходим лишь механизм их оповещения о событиях на доске; простота изменения состава источников, так как они независимы; нет ограничений на вид информации, помещаемой на доску – гибкое представление	Описывает лишь организационные принципы, являясь концептуальной сущностью, а не вычислительной спецификацией; проблема понимания представленных данных всеми источниками знаний
Гибридная	Позволяют учитывать инструментальную и проблемную неоднородность, объединять различные классы методов формализованного представления систем, позволяя компенсировать слабые стороны одних представлений преимуществами других	Нерелевантность архитектур структуре интеллекта человека; зависимость от качества моделирования проблемы и конструирования интегрированного метода; ограниченные возможности по моделированию самоорганизации
Многоагентная	Эффективны в случаях, когда нет наилучшего решения; позволяют исследовать процессы самоорганизации; естественным образом описывают сложные системы, легко масштабируются; возможно проектирование снизу вверх; обладают высокой гибкостью	Отсутствие общепринятой методологии проектирования; нет качественных и широко используемых средств автоматизации проектирования; проблемы проектирования агента, действующего в условиях внешней среды, «честности»

ВЫВОДЫ

Исходя из проведенного исследования, можно заключить:

1. В естественных коллективах большинство методов предполагают среднюю или высокую зависимость от стадии группового принятия решений, степени сплоченности ее членов и влияния их друг на друга.

2. Для разработки конкретной

автоматизированной системы (искусственного коллектива), предназначенной для решения поставленной проблемы, при выборе модели должны учитываться минусы и плюсы каждого из подходов. Рассмотренные модели не являются взаимоисключающими, и для компенсации определенных недостатков одной модели она может комбинироваться с другой, если этого требует поставленная проблема.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Петровский, А.В.** Социальная психология коллектива : учебное пособие для педагогических институтов / А.В. Петровский, В.В. Шпалинский. – Москва : Просвещение, 1978. – 176 с.

2. **Kaner, S.** Facilitator's guide to participatory decision-making / S. Kaner. – San Francisco, CA : Jossey-Bass a Wiley Brand, 2014. – 434 p.

3. **Румовская, С.Б.** Виртуальные гетерогенные коллективы: истоки, развитие, перспективы / С.Б. Румовская, А.В. Колесников, С.В. Листопад // Проблемы искусственного интеллекта. – 2017. – Вып. 3 (6). – С. 40-49.

4. Анализ методов гетерогенного мышления и перспектив их реализации гибридными интеллектуальными многоагентными системами / А.В. Колесников, С.В. Листопад, С.Б. Румовская, Ф.Г. Майтаков // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. – 2018. – Вып. 2. – С. 59-71.

5. Brain-writing vs. brainstorming case study for power engineering education / M. Litcanu, O. Prostean, C. Oros, A.V. Mnerie. – DOI 10.1016/j.sbspro.2015.04.452 // Procedia – Social and Behavioral Sciences. – 2015. – Vol. 191. – P. 387-390.

6. **Гаврилова, Т.А.** Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге / Т.А. Гаврилова, Э.В. Страхович. – DOI 10.18287/2223-9537-2020-10-1-87-99 // Онтология проектирования. – 2020. – Т. 10, вып. 1. – С. 87-99.

7. **Боно, Э. де.** Параллельное мышление. – От сократовского мышления к дебоновскому / Э. де Боно. – Минск : Попурри, 2007. – 310 с. – ISBN 978-985-15-0011-2.

8. **Islam, K.A.** Developing and measuring training the six sigma way: a business approach to training and development / K.A. Islam. – San Francisco : Pfeiffer, 2006. – 221 p.

9. **Колесников, А.В.** Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков. – Москва : ИПИ РАН, 2007. – 387 с.

10. **Латфуллин, Г.Р.** Организационное доведение : учебник для вузов / Г.Р. Латфуллин, О.Н. Громова. – Санкт-Петербург : Питер, 2004. – 432 с.

11. **Carron, A.V.** The measurement of cohesion in sports teams: the group environment questionnaire / A.V. Carron, W.N. Widmeyer, L.R. Brawley // Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien des Sciences du Sport. – 1989. – Vol. 14, № 1. – P. 55-59.

12. **Carless, S.A.** The measurement of cohesion in work teams / S.A. Carless, C. De Paola. – DOI 10.1177/104649640003100104 // Small Group Research. – 2000. – Vol. 31, № 1. – P. 71-88.

13. **Bollen, K.A.** Perceived cohesion: a conceptual and empirical examination / K.A. Bollen, R.H. Hoyle. – DOI 10.2307/2579670 // Social Forces. – 1990. – Vol. 69, № 2. – P. 479-504.

14. **Сидоренков, А.В.** Микрогрупповая концепция / А.В. Сидоренков // Российский психологический журнал. – 2006. – Т. 3, вып. 1. – С. 21-26.

15. **Cartwright, D.** Group dynamics: research and theory. Group Dynamics / D. Cartwright. – New York : Harper & Row, 1968. – 600 p.
16. **Петровский, А.В.** Опыт построения социально-психологической концепции групповой активности / А.В. Петровский // Вопросы психологии. – 1973. – Вып. 5. – С. 3-17.
17. **Engel, B.A.** Integrating expert systems with conventional problem-solving techniques using blackboards / B.A. Engel, D.B. Beasley, J.R. Barret. – DOI 10.1016/0168-1699(90)90035-N // Computers and Electronics in Agriculture. – 1990. – Vol. 4, № 4. – P. 287-301.
18. **Hwang, J.S.** Hybrid blackboard model for feature interactions in process planning / J. S. Hwang, W. A. Miller. – DOI 10.1016/0360-8352(95)00143-O // Computers & Industrial Engineering. – 1995. – Vol. 29, № 1-4. – P. 613-617.
19. **Petridis, M.** A blackboard architecture for a hybrid CBR system for scientific software / M. Petridis, B. Knight // Case-Based Reasoning Research and Development : 4th International Conference, ICCBR 2001, Vancouver, BC, Canada, July 30 – August. – Washington DC, USA, 2001. – P. 189-195.
20. **Szymanski, L.** Multi-agent blackboard architecture for supporting legal decision making / L. Szymanski, B. Sniezynski, B. Indurkha. – DOI 10.7494/csci.2018.19.4.3007 // Computer Science. – 2018. – Vol. 19, № 4. – P. 459-476.
21. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / А.В. Колесников, И.А. Кириков, С.В. Листопад [и др.]. – Москва : ИПИ РАН, 2011. – 390 с. – ISBN 9785902030881.
22. **Nolle, L.** On explanations for hybrid artificial intelligence / L. Nolle, F. Stahl, T. El-Mihoub. – DOI 10.1007/978-3-031-47994-6_1 // Artificial Intelligence XL. – Cham, Switzerland, 2023. – Vol. 14381. – P. 3-15.
23. **Кривенко, М.П.** Мягкие вычисления в задачах медицинской диагностики / М.П. Кривенко. – DOI 10.14357/19922264210208 // Информатика и её применения. – 2021. – Т. 15, вып. 2. – С. 52-59.
24. **Medsker, L.R.** Hybrid intelligent systems / L.R. Medsker. – Boston, MA : Springer US, 1995. – 312 p. – DOI : 10.1007/978-1-4615-2353-6.
25. **Sun, R.** Hybrid connectionist-symbolic modules: a report from the IJCAI-95 workshop on connectionist-symbolic integration / R. Sun // AI Magazine. – 1996. – Vol. 17, № 2. – P. 99-103.
26. **Goonatilake, S.** Intelligent hybrid systems: issues, classifications and future directions / S. Goonatilake, S. Khebbal // Intelligent hybrid systems / eds. S. Goonatilake, S. Khebbal. – Chichester, 1995. – P. 1-19.
27. **Таран, М.О.** Архитектура гибридной интеллектуальной информационной системы анализа судебной арбитражной практики / М.О. Таран, Ю.Е. Гапанюк. – DOI 10.21681/1994-1404-2020-1-15-25 // Правовая информатика. – 2020. – Вып. 1. – С. 15-25.
28. **Еремеев, А.П.** Развитие аппарата таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа / А.П. Еремеев // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы III Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. А.В. Колесникова. – Светлогорск, 2016. – С. 121-132.
29. Обработка и классификация текста на естественном языке с помощью гибридных интеллектуальных информационных систем / С.Л. Блюмин, А.К. Погодаев, А.С. Приньков, Е.Л. Хабибуллина // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. А.В. Колесникова. – Калининград, 2018. – С. 167-176.
30. **Виноградов, Г.П.** Принятие интуитивных решений в гибридных интеллектуальных системах / Г.П. Виноградов, Н.В. Кирсанова, А.В. Колегов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : материалы IV Всероссийской Поспеловской конференции с

международным участием / под ред. А.В. Колесникова. – Калининград, 2018. – С. 176-181.

31. Онтологическое проектирование гибридных семантически совместимых интеллектуальных систем на основе смыслового представления знаний / В.В. Голенков, Н.А. Гулякина, И.Т. Давыденко [и др.]. – DOI 10.18287/2223-9537-2019-9-1-132-151 // Онтология проектирования. – 2019. – Т. 9, вып. 1 (31). – С. 132-151.

32. A hybrid intelligent system framework for the prediction of heart disease using machine learning algorithms / A.U. Naq, J.P. Li, M.H. Memon [at al.]. – DOI 10.1155/2018/3860146 // Mobile Information Systems. – 2018. – Vol. 2018. – P. 1-21.

33. **Фоминых, И.Б.** Гибридные интеллектуальные системы на основе темпоральных логических моделей и инженерии образов / И.Б. Фоминых // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции. Т.1. – Москва, 2009. – С. 87-96.

34. **Колесников, А.В.** Алгоритм координации для гибридной интеллектуальной системы решения сложной задачи оперативно-производственного планирования / А.В. Колесников, С.А. Солдатов // Информатика и её применения. – 2010. – Т. 4, вып. 4. – С. 60-66.

35. «Виртуальный консилиум» – инструментальная среда поддержки принятия сложных диагностических решений / И.А. Кириков, А.В. Колесников,

С.В. Листопад, С.Б. Румовская. – DOI 10.14357/19922264160311 // Информатика и её применения. – 2016. – Т. 10, вып. 3. – С. 81-90.

36. Инструментальные средства для открытых сетей агентов / В.И. Городецкий, О.В. Карсаев, В.В. Самойлов, С.В. Серебряков // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2008. – Вып. 3. – С. 106-124.

37. **Гладков, Л.А.** Разработка новых подходов к проектированию многоагентных систем / Л.А. Гладков, Н.В. Гладкова // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2019. – Вып. 2 (35). – С. 16-23.

38. **Мутовкина, Н.Ю.** Методика контроля интуитивных решений интеллектуальных агентов / Н.Ю. Мутовкина, В.Н. Кузнецов // Системы управления и информационные технологии. – 2020. – Вып. 1 (79). – С. 78-82.

39. **Фоминых, И.Б.** Модель целеполагания в многоагентной системе с ограниченным ресурсом времени / И.Б. Фоминых, С.В. Романчук, Н.П. Алексеев. – DOI 10.24160/1993-6982-2018-5-73-78 // Вестник Московского энергетического института. – 2018. – Вып. 5. – С. 73-78.

40. Промышленные применения интеллектуальных систем для управления ресурсами на основе мультиагентных технологий / С.П. Грачев, А.Н. Лада, В.Б. Ларюхин [и др.]. – DOI 10.25728/tas.2019.50.5.2 // Генезис знаний. – Москва, 2019. – С. 548-568.

Сведения об авторах:

Румовская София Борисовна

кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Калининградский филиал Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» Российской академии наук
236022, г. Калининград, ул. Гостиная, 5
srumovskaya@frccsc.ru

Information about the authors:

Rumovskaya Sophiya Borisovna

Candidate of Sciences (PhD) in technology, senior scientist, Kaliningrad Branch of the Federal Research Center “Computer Science and Control” of the Russian Academy of Sciences,
236022, Russia, Kaliningrad,
Gostinaya st., 5.
srumovskaya@frccsc.ru

Листопад Сергей Викторович
кандидат технических наук, директор,
Калининградский филиал Федерального
исследовательского центра «Информатика
и управление» Российской академии наук
236022, г. Калининград, ул. Гостиная, 5
slistopad@frccsc.ru

Listopad Sergey Viktorovich
Candidate of Sciences (PhD) in technology,
director, Kaliningrad Branch of the Federal
Research Center “Computer Science and
Control“ of the Russian Academy of Sciences,
236022, Russia, Kaliningrad, Gostinaya st., 5.
slistopad@frccsc.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_16
УДК 004.8

Д.А. БАРАНОВ, В.Ф. БАРАБАНОВ

МЕХАНИЗМ СЕЛЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ШТРАФНЫХ ФУНКЦИЙ В ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМАХ ДЛЯ ЗАДАЧ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Воронежский государственный технический университет, Воронеж

Аннотация: Актуальность статьи обусловлена недостатками традиционных методов обработки ограничений в эволюционных алгоритмах, применяемых для решения задач целочисленной условной оптимизации. Единообразное применение штрафных функций не учитывает специфику различных типов ограничений и их влияние на отдельные критерии многокритериальной целевой функции, что приводит к замедлению сходимости и снижению качества получаемых решений. В связи с этим данная статья направлена на разработку модели селективного применения штрафных функций, обеспечивающей направленную коррекцию поиска решений в зависимости от типа нарушенного ограничения. Ведущими методами исследования являются математическое моделирование многокритериальных систем, методы эволюционных вычислений и формальные языки описания ограничений. В статье представлена математическая модель селективных штрафных функций с отдельным учетом влияния ограничений на различные критерии, разработана система формализации ограничений на основе польской нотации, обосновано алгоритмическое обеспечение с механизмом верификации промежуточных решений. Реализован механизм межкритериальной нормализации и агрегирования для корректного сравнения разномасштабных критериев. Материалы статьи представляют практическую ценность для разработчиков интеллектуальных систем оптимизации в области логистического планирования, распределения вычислительных ресурсов и управления производственными процессами.

Ключевые слова: эволюционные алгоритмы, задачи оптимизации, интеллектуальные системы.

MECHANISM OF SELECTIVE APPLICATION OF PENALTY FUNCTIONS IN EVOLUTIONARY ALGORITHMS FOR INTEGER CONDITIONAL OPTIMIZATION PROBLEMS

Voronezh State Technical University, Voronezh

Abstract: The relevance of the paper is determined by the shortcomings of traditional constraint handling methods in evolutionary algorithms applied to integer conditional optimization problems. The uniform application of penalty functions does not account for the specifics of different constraint types and their influence on individual criteria of the multi-criteria objective function, which leads to convergence slowdown and degradation of solution quality. In this regard, this article is aimed at developing a model for selective application of penalty functions, providing directed correction of solution search depending on the type of violated constraint. The leading research methods are mathematical modeling of multi-criteria systems, evolutionary computation methods, and formal constraint description languages. The article presents a mathematical model of selective penalty functions with separate consideration of constraint influence on different criteria, develops a constraint formalization system based on Polish notation, and substantiates algorithmic framework with intermediate solution verification mechanism. An inter-criteria normalization and aggregation mechanism has been implemented for correct comparison of multi-scale criteria. The materials of the article are of practical value for developers of intelligent optimization systems in the field of logistics planning, computational resource allocation, and production process management.

Keywords: evolutionary algorithms, optimization problems, intelligent systems.

ВВЕДЕНИЕ

Современные задачи целочисленной условной оптимизации (ЦУО) находят широкое применение в различных областях: от планирования логистических маршрутов и управления производственными процессами до проектирования телекоммуникационных систем и оптимизации работы конечных автоматов. Общей характеристикой таких задач является дискретность пространства решений, наличие множественных разнородных ограничений и многокритериальность, что существенно усложняет применение классических методов оптимизации [1, 2].

Эволюционные алгоритмы (ЭА) зарекомендовали себя как эффективный инструмент для решения сложных оптимизационных задач, однако их применение к задачам с множественными ограничениями сталкивается с рядом принципиальных трудностей. Основная проблема заключается в том, что в процессе эволюционного поиска

значительная часть генерируемых решений оказывается недопустимой, т. е. нарушающей одно или несколько ограничений задачи. Это приводит к замедлению сходимости алгоритма, увеличению вычислительных затрат и, в некоторых случаях, к невозможности нахождения приемлемого решения за разумное время.

Традиционный подход к обработке ограничений в эволюционных алгоритмах основан на использовании штрафных функций. Классическая схема предполагает добавление к значению целевой функции некоторого штрафного слагаемого, пропорционального степени нарушения ограничений. Однако такой подход имеет существенные недостатки. Во-первых, он требует тщательной настройки величины штрафа: слишком малые штрафы не обеспечивают достаточного «давления» в сторону допустимой области, в то время как чрезмерно большие штрафы могут привести к преждевременной сходимости к субоптимальным решениям [3, 4, 5]. Во-

вторых, единообразное применение штрафов не учитывает специфику различных типов ограничений и их влияние на разные критерии оптимизации в многокритериальных задачах [2].

Проблема усугубляется в случае задач с противоречивыми критериями и ограничениями. В реальных прикладных задачах различные критерии могут иметь разную чувствительность к нарушению конкретных ограничений [6, 7]. Например, в задаче оптимизации логистических маршрутов нарушение временных окон доставки критически влияет на критерий своевременности, но может быть менее существенным для критерия общей стоимости маршрута. Аналогично, превышение грузоподъемности транспортного средства напрямую воздействует на экономические показатели, но может не влиять на временные характеристики.

Целью настоящей работы является разработка модели интеграции штрафных функций в эволюционные алгоритмы, обеспечивающей селективное применение штрафов по каждому критерию оптимизации в зависимости от типа нарушенного ограничения для повышения скорости сходимости к допустимой области решений и улучшения качества получаемых результатов.

ФОРМАЛИЗАЦИЯ ЗАДАЧИ ЦЕЛОЧИСЛЕННОЙ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Пусть имеется задача размерностью n при $n \geq 2$, множество индексов элементов $N = \{0, 1, 2, \dots, n-1\}$ и Π – множество всех перестановок длины n над N . Решение задачи представляет собой перестановку согласно выражению:

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \Pi; x_i \in N; x_i \neq x_j \quad \forall i \neq j \quad (1)$$

Для задачи определены критерии в количестве m и правила ограничений в количестве r . Для каждого критерия $k \in K$ определены:

– $A^{(k)} = [a_{ij}^{(k)}] \in R^{(n \times n)}$ – матрица стоимостей (метрик), где $a_{ij}^{(k)} \in R$ –

стоимость перехода от элемента i к элементу j по критерию k ;

– $d^{(k)} \in \{min, max\}$ – направление оптимизации;

– $c^{(k)} \in \{0, 1\}$ – параметр цикличности, где $c^{(k)} = 1$ – циклический путь, $c^{(k)} = 0$ – линейный путь.

Условия допустимости могут уточняться множеством правил $R = \{r_1, r_2, \dots, r_n\}$, где каждое правило задается логическим предикатом согласно уравнению:

$$\phi_r(x) = \begin{cases} 1, & \text{если правило нарушено} \\ 0, & \text{если правило выполняется} \end{cases} \quad (2)$$

Правила разделяются на жесткие $R^{\text{жест}}$ и мягкие $R^{\text{мягк}}$. Для жестких правил множество допустимых решений формируется согласно выражению (3). Решения, не принадлежащие множеству Y , исключаются из дальнейшего вычислительного процесса

$$Y = \{x | \phi_r(x) = 0, \forall r \in R^{\text{жест}}\}. \quad (3)$$

Для мягких ограничений каждому правилу $r \in R^{\text{мягк}}$ сопоставляется штрафное значение $\Delta_r^{(m)}$ по критерию m . Тогда совокупная надбавка по критерию m вычисляется согласно формуле:

$$P^{(m)}(x) = \sum_{r \in R^{\text{мягк}}} \phi_r(x) \cdot \Delta_r^{(m)}(x). \quad (4)$$

Тогда обобщенная целевая функция по критерию m имеет вид согласно выражению:

$$F^{(m)}(x) = c^{(m)T} x + P^{(m)}(x). \quad (5)$$

РАЗРАБОТКА ПРАВИЛ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Для поставленной задачи ЦУО могут быть заданы ограничения, которые являются предикатами, при «истинности» которых штрафы будут применяться к промежуточным «покритериальным» расчетам вплоть до полного исключения решения из дальнейшего вычислительного процесса. Для таких решений разработан синтаксис, основанный на польской

(префиксной) нотации [8], отличающийся краткостью, отсутствием потребности в длительном изучении и имеющий возможность описания логики

произвольного уровня вложенности. В табл. 1 приведена спецификация средств формализации представления ограничений.

Таблица 1

Спецификация средств формализации представления ограничений

Обозначение	Описание	Примеры	
@	От точки до точки по критерию	@ A D дистанция > 300	
#	Позиция точки по номеру	# A = 1	# B = [5, 7]
>>	Следование точки за точкой	>> D I	>> M A
>>>	Следование точки непосредственно за точкой	>>> A N	>>> N A
&	Логическое «И»	@ A B время > 300 & # A = 1	
	Логическое «ИЛИ»	@ A B время > 300 # A = 1	
!	Логическое отрицание	!(# A > 1)	A N время != 10

Помимо операторов сравнения у первых двух команд можно указывать оператор вхождения в диапазон, требующий наличия символа «~» перед ним и состоящий из круглых или квадратных скобок и значений. Данный оператор способен обрабатывать

диапазоны, подразумевающие строгое и нестрогое соответствие, а также отсутствие одного из значений, что будет означать «от начала» и «до конца» соответственно. Варианты использования оператора диапазона приведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты использования оператора диапазона

Пример	Описание	Пример	Описание
[1, 2]	От 1 вкл. до 2 вкл.	[, 2]	От 0 вкл. до 2 вкл.
(1, 2)	От 1 не вкл. до 2 вкл.	(, 2)	От 0 не вкл. до 2 не вкл.
[1, 2)	От 1 вкл. до 2 не вкл.	(1,]	От 1 не вкл. до конца вкл.
(1, 2)	От 1 не вкл. до 2 не вкл.	(1,)	От 1 не вкл. до конца не вкл.

Логическое выражение разделяет фраза «->», справа от которой описаны штрафы, которые будут применены к решению. Штрафы могут быть описаны в виде пар «имя критерия — значение», перечисленных через точку с запятой или в виде ключевого

слова «exs», что будет означать полное исключение решения из дальнейших расчетов. Пример ограничения в контексте распределения взаимосвязанных вычислительных процессов на доступных узлах кластера приведен далее:

@ P1 P2 задержка > 100 & >> N3 N5 & # N3 = [2,4] -> время:1500;отказоуст.:10.

Интерпретация: если между процессами $P1$ и $P2$ средняя задержка связи превышает 100, при этом узел $N3$ предшествует $N5$ в порядке маршрутизации, и $N3$ занимает позицию в диапазоне $[2; 4]$, то конфигурация считается неэффективной и получает штраф 1500 к времени выполнения и -10 к отказоустойчивости. «@ $P1 P2$ задержка» соотносится к сетевым характеристикам, конструкция «>> $N3 N5$ » описывает топологическую зависимость между узлами, конструкция # $N3 = [2, 4]$ позволяет учесть позицию узла в вычислительном графе, например, когда средние узлы перегружаются чаще краевых.

На этапе инициализации вычислительного процесса формализованные ограничения проходят процедуру интерпретации, в ходе которой текстовое описание правил в польской нотации преобразуется в исполняемые штрафные функции. Каждая функция принимает на вход кандидатное решение x и возвращает либо маркер исключения при нарушении жесткого ограничения, либо структуру данных типа «критерий–штраф», содержащую селективные штрафные значения по каждому затронутому критерию.

Полученные штрафные функции интегрируются непосредственно в итерационный цикл эволюционных алгоритмов (рис. 1), формируя встроенный механизм верификации промежуточных решений [9]. Это обеспечивает проверку

допустимости каждого актора сразу после его формирования генетическими операторами, конструктивными эвристиками или стохастическими процедурами поиска. При обнаружении нарушения жестких ограничений актор немедленно исключается из популяции, что предотвращает распространение недопустимых решений. В случае нарушения мягких ограничений к соответствующим компонентам целевой функции добавляются штрафные надбавки, что снижает приоритет данного решения при селекции, но сохраняет возможность его участия в формировании потомков.

После верификации для каждого актора выполняется расчет приспособленности по всем m критериям оптимизации. На данном этапе производится актуализация глобальных минимальных и максимальных значений по каждому критерию, необходимых для корректной нормализации разномасштабных и разнонаправленных показателей. Нормализованные значения критериев агрегируются в единую метрику – межкритериальную сумму (МКС), представляющую собой интегральную оценку качества решения [10]. Завершающим этапом итерации является ранжирование акторов по значению МКС и обновление списка N лучших решений, который используется как для формирования базы знаний системы, так и для принятия решений о продолжении или завершении оптимизационного процесса.

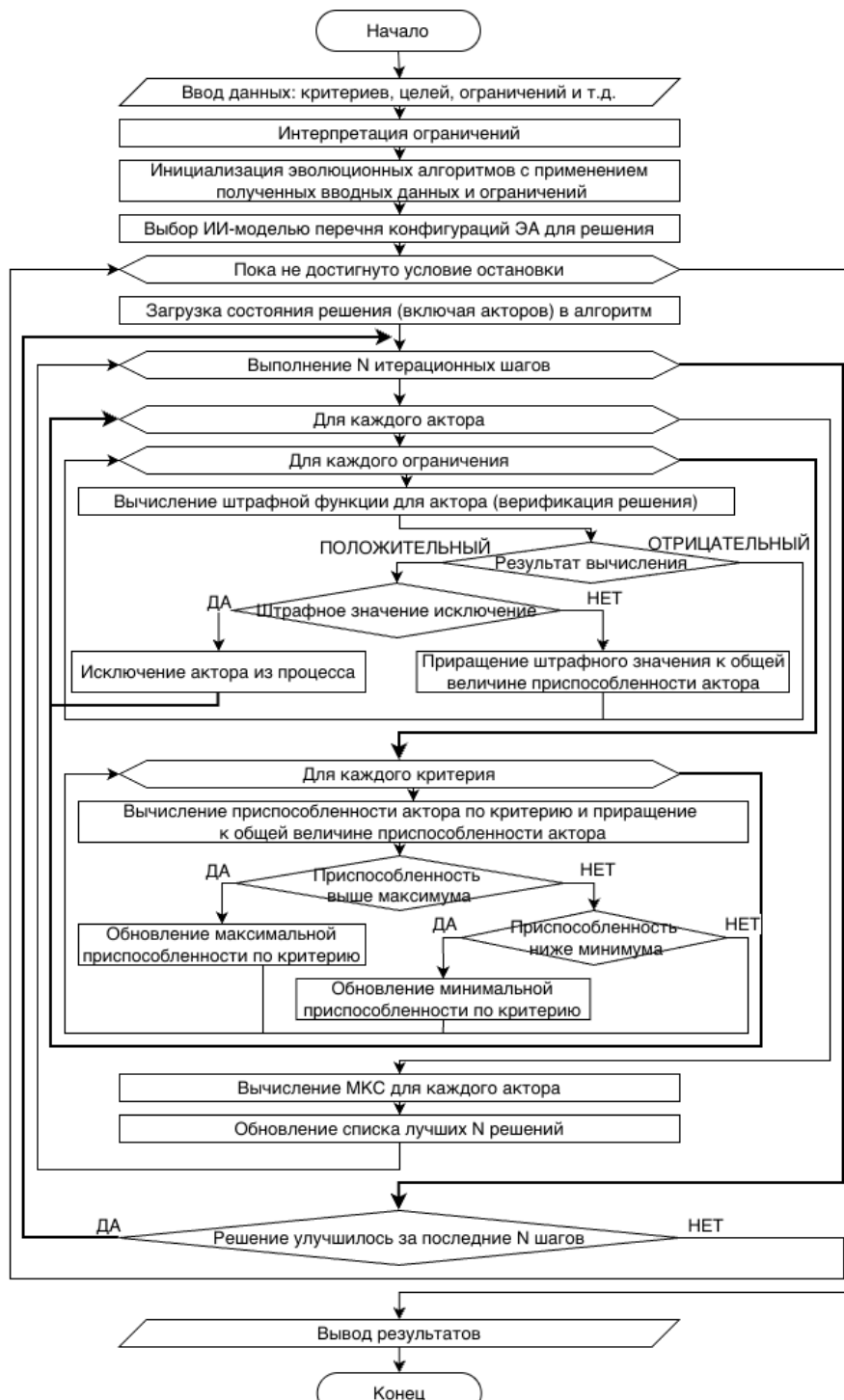


Рис. 1. Структура алгоритмического обеспечения с верификацией промежуточных решений

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе предложена модель селективного применения штрафных функций в эволюционных алгоритмах для задач целочисленной условной оптимизации. Разработанный подход обеспечивает направленную коррекцию поиска решений путем индивидуального назначения штрафных значений по каждому критерию оптимизации в

зависимости от типа нарушенного ограничения.

Разработана математическая модель селективных штрафных функций, отличающаяся отдельным учетом влияния различных типов ограничений на отдельные критерии многокритериальной целевой функции. Модель обеспечивает гибкое управление процессом направленного поиска допустимых решений. Создана система формализации

ограничений на основе польской нотации, позволяющая описывать правила произвольной степени вложенности с использованием логических операторов, операторов сравнения и диапазонов. Разработанный синтаксис отличается компактностью и не требует длительного освоения.

Разработано алгоритмическое обеспечение с механизмом верификации промежуточных решений, интегрирующее интерпретатор ограничений и систему селективного штрафования непосредственно в итерационный цикл эволюционных алгоритмов. Предложенная структура обеспечивает раннее выявление недопустимых решений и их исключение либо снижение приоритета до завершения вычислительно затратных операций оценки приспособленности. Реализован механизм межкритериальной нормализации и агрегирования, обеспечивающий корректное сравнение решений в условиях разномасштабности и разнонаправленности критериев оптимизации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Michalewicz, Z.** Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs / Z. Michalewicz. – 3rd ed. – Berlin : Springer-Verlag, 1996. – 387 p.
2. **Курейчик, В.М.** Эволюционные вычисления и их применение / В.М. Курейчик, В.В. Курейчик, Л. В. Родзин. – Москва : Физматлит, 2012. – 367 с.
3. **Панченко, Т.В.** Генетические алгоритмы : учебно-методическое пособие / Т.В. Панченко ; под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань : ИД Астраханский университет, 2007. – 87 с.
4. **Семенкин, Е.С.** Интеллектуальные методы решения задач оптимизации / Е.С. Семенкин, О.Э. Семенкина, И.А. Панфилов. – Красноярск : СФУ, 2014. – 364 с.
5. **Coello Coello, C.** A Constraint-handling in genetic algorithms through the use of dominance-based tournament selection / C. Coello Coello, E. Mezura Montes // Advanced Engineering Informatics. – 2002. – Vol. 16, № 3. – P. 193-203.

Практическая значимость результатов подтверждается возможностью применения разработанного подхода в интеллектуальных системах оптимизации для различных прикладных областей: логистического планирования, распределения вычислительных ресурсов, управления производственными процессами. Универсальность предложенного механизма позволяет интегрировать его в различные эволюционные алгоритмы без существенной модификации их базовой структуры.

Направления дальнейших исследований включают разработку методов автоматической настройки величин штрафов на основе анализа динамики вычислительного процесса, расширение синтаксиса формализации для описания темпоральных и стохастических ограничений, а также исследование эффективности предложенного подхода на более широком классе задач комбинаторной оптимизации.

6. **Подиновский, В.В.** Введение в теорию важности критериев в многокритериальных задачах принятия решений / В.В. Подиновский. – Москва : Физматлит, 2007. – 64 с.
7. **Ногин, В.Д.** Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В.Д. Ногин. – 2-е изд. – Москва : Физматлит, 2005. – 176 с.
8. **Łukasiewicz, J.** Philosophische Bemerkungen zu mehrwertigen Systemen des Aussagenkalküls / J. Łukasiewicz // Comptes Rendus des Séances de la Société des Sciences et des Lettres de Varsovie. Cl. III. – 1930. – Vol. 23. – P. 51-77.
9. **Баранов, Д.А.** Модификация алгоритма пчелиной колонии для решения транспортной задачи оптимизации с динамическим количеством критериев / Д.А. Баранов // Нано-био-технологии. Тепло- и электроэнергетика. Математическое моделирование : сборник статей III международной научно-практической конференции, Липецк,

27-28 февраля 2025 года. – Липецк, 2025. – С. 286-294.

10. **Баранов, Д.А.** Исследование эффективности эволюционных алгоритмов в задачах дискретной оптимизации высокой размерности / Д.А. Баранов //

Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2025. – Т. 13, № 3. – С. 1-9. – URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=2042> (дата обращения: 24.01.2026).

Сведения об авторах:

Баранов Дмитрий Алексеевич

аспирант кафедры Автоматизированных вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет, 394026, Россия, г. Воронеж, Московский пр-кт, д. 14
div8@bk.ru

Барабанов Владимир Федорович

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Автоматизированных вычислительных систем, Воронежский государственный технический университет, 394026, Россия, г. Воронеж, Московский пр-кт, д. 14
bvf@list.ru

Information about the authors:

Baranov Dmitriy Al'exeyevich

postgraduate student of the Department of Automated Computing Systems, Voronezh State Technical University 394026, 14 Moskovskiy avenue, Voronezh, Russia
div8@bk.ru

Barabanov Vladimir Fedorovich

Doctor of Technical Sciences, Professor, deputy chief of the Department of Automated Computing Systems, Voronezh State Technical University 394026, 14 Moskovskiy avenue, Voronezh, Russia
bvf@list.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_23

УДК 004.8

И.А. СЕДЫХ, Н.С. НАСОНОВ

СЕМАНТИЧЕСКИЙ ПОИСК НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕШНЕГО ЦИТИРОВАНИЯ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье представлен обзор систем семантического поиска научных публикаций и применяемых подходов. Предлагается подход к построению системы семантического поиска научных публикаций, основанный на объединении текстового анализа и информации о внешнем цитировании. Рассмотрены графы знаний и цитирования, трансформерные модели, векторизация и поиск ближайших соседей. Обсуждаются метрики оценки (Precision, Recall, MRR), проблемы сопоставимости результатов и практические рекомендации. Предлагается архитектура, использующая векторные представления текстов и граф цитирований для повышения релевантности результатов поиска. Особое внимание уделяется роли данных о цитатных связях в расширении семантического контекста публикаций. Также проводится экспериментальная оценка влияния использования

информации о внешнем цитировании на качество семантического поиска без дообучения нейросетевой модели.

Ключевые слова: семантический поиск, научные публикации, внешние цитирования, граф цитирования, нейросетевые модели, векторный поиск.

I.A. SEDYKH, N.S. NASONOV

SEMANTIC SEARCH OF SCIENTIFIC PUBLICATIONS USING EXTERNAL CITATIONS

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article presents an overview of systems for semantic search of scientific publications and the approaches used. It proposes an approach for building a semantic search system for scientific publications based on the integration of textual analysis and external citation information. Knowledge and citation graphs, transformer models, vectorization, and nearest neighbor search are considered. Evaluation metrics (Precision, Recall, MRR), problems of result comparability, and practical recommendations are discussed. An architecture is proposed that uses vector representations of texts and citation graphs to improve the relevance of search results. Special attention is paid to the role of citation-link data in expanding the semantic context of publications. The impact of using external citation information on the quality of semantic search without retraining the neural network model is experimentally evaluated.

Keywords: semantic search, scientific publications, external citations, citation graph, neural network models, vector search.

ВВЕДЕНИЕ

Современные цифровые библиотеки содержат миллионы научных публикаций, что существенно усложняет задачу поиска релевантной информации. Традиционные поисковые системы в значительной степени опираются на ключевые слова и статистические методы, что снижает качество поиска при использовании различных терминологических формулировок и синонимов.

Развитие методов обработки естественного языка и появление нейросетевых моделей, формирующих контекстные векторные представления текстов, позволили перейти к семантическому поиску, ориентированному на смысл запроса и документа. Однако использование исключительно текстовой информации не всегда позволяет выявить тематически связанные публикации, особенно в научных областях с устоявшейся системой ссылок и заимствований.

Одним из перспективных источников дополнительной информации являются

данные о внешнем цитировании, формирующие граф взаимосвязей между публикациями. Учет структуры цитатных связей позволяет выявлять семантически близкие работы, даже при отсутствии прямого лексического сходства.

В данной работе рассматриваются существующие решения семантического поиска и подходы, применяемые в них. Предлагается архитектура системы семантического поиска научных публикаций, объединяющая нейросетевую векторизацию текстов и анализ внешних цитирований, а также формируется методическая основа для последующего дообучения модели и исследования её качества. Дополнительно проводится экспериментальная оценка влияния внешнего цитирования на качество семантического поиска без дообучения модели.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ РЕШЕНИЯ

В настоящее время существует ряд крупных цифровых платформ, реализующих элементы семантического поиска научных

публикаций. Эти системы различаются по используемым моделям, объёму учитываемых метаданных и способам интеграции информации о цитировании.

1. Существующие системы семантического поиска:

- Google Scholar использует анализ цитирований и семантическую обработку для ранжирования публикаций [1].
- Semantic Scholar применяет трансформерные модели (SciBERT и др.) и граф знаний для повышения релевантности [2].
- AMiner акцентирует внимание на сетевом анализе научных сообществ и графах цитирования [3].
- PubMed и arXiv сочетают машинное обучение с полнотекстовым и метадаанным поиском [4, 5].

2. Методы и архитектуры:

- Графовые БД (Neo4j и аналоги) для хранения узлов публикаций, авторов, ключевых слов и ребер цитирования [6].

- Трансформеры (BERT/SciBERT и модификации) для построения контекстных эмбедингов [7, 8].

- Векторный поиск (Sentence Transformers + FAISS с IVF/HNSW и PQ/OPQ) для масштабируемого сопоставления [9, 10, 11].

- Анализ цитирований и метаданных (PageRank, центральности, авторы, организации) для улучшения ранжирования [12].

3. Оценка качества (Precision, Recall, MRR). Часто применяются Precision/Recall@k и средний обратный ранг (MRR), однако результаты зависят от предметной области и протоколов тестирования. Описание метрик приведено в [13, 14]. В табл. 1 представлены ориентировочные значения метрик для ряда существующих систем.

Таблица 1

Основные результирующие метрики существующих систем

Система	Precision	Recall	MRR	Особенности
Google Scholar	0.85–0.90	~0.70	~0.85	Силен для популярных работ
Semantic Scholar	0.92–0.95	~0.80	~0.88	NLP + учёт цитирований
AMiner	0.88–0.90	0.75–0.80	~0.86	Сетевой анализ
PubMed	0.90–0.95	~0.85	~0.89	Биомедицина, метаданные
arXiv	0.87–0.90	~0.80	~0.85	Технические дисциплины

4. Проблемы оценки точности:

- Нет единых датасетов и протоколов; результаты чувствительны к формулировкам запросов.
- Покрытие «длинного хвоста»: редко цитируемые и новые работы сложнее находить.

5. Рекомендации по повышению точности:

- дообучать доменные модели (SciBERT, T5/GPT) на профильных корпусах;

- использовать Sentence Transformers + FAISS (IVF/HNSW, PQ/OPQ);
- комбинировать текстовую близость с признаками графа (PageRank, центральности);
- учитывать метаданные и пользовательские сигналы для персонализации.

Комбинация векторных представлений, графов цитирования и метаданных обеспечивает высокую релевантность. Для воспроизводимой

оценки следует применять согласованные датасеты и протоколы.

АРХИТЕКТУРА РЕШЕНИЯ

Ключевая идея предлагаемой системы заключается в создании архитектуры, где нейросетевая модель используется для преобразования текстов в векторное пространство, отражающее их семантическое содержание.

Архитектура системы включает в себя такие компоненты, как модуль обработки пользовательского запроса, нейросетевая модель для построения эмбедингов входящих запросов и корпуса публикаций, хранилище векторных представлений публикаций, модули анализа и хранения данных о цитированиях, механизмы ранжирования и реранжирования результатов поиска.

Данные о цитировании рассматриваются как отдельный структурный слой, связанный с текстовыми представлениями публикаций. Такой подход обеспечивает модульность архитектуры и возможность дальнейшего расширения системы без изменения базовых компонентов.

В качестве базовой модели для проектируемой архитектуры выбрана и используется в прототипе открытая модель искусственного интеллекта multilingual-e5-large [15, 16].

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ О ВНЕШНЕМ ЦИТИРОВАНИИ

Внешние цитирования представляют собой информацию о ссылках между научными публикациями, получаемую из открытых источников метаданных, таких как OpenAlex и arXiv [5, 17]. Эти данные формируют ориентированный граф, в котором вершины соответствуют публикациям, а ребра – цитатным связям.

Использование графа цитирований в системе семантического поиска позволяет повысить качество и точность отбираемых публикаций по запросу пользователя, учитывать авторитетность публикаций на основе входящей цитируемости и графовых метрик, выполнять реранжирование результатов поиска с учетом структурных связей, расширять

семантический контекст публикаций за счет их цитатного окружения.

В рамках данной работы дообучение нейросетевой модели не выполнялось экспериментально, однако был разработан и обоснован проектируемый подход к адаптации существующих моделей семантического поиска под задачу анализа научных публикаций.

Предлагаемый подход основан на использовании LoRA-адаптеров [18], позволяющих модифицировать параметры модели с минимальными вычислительными затратами. Планируемое дообучение предполагается выполнять на специализированном датасете, сформированном с учетом структуры графа цитирований.

Для повышения устойчивости модели предполагается формирование сложных отрицательных примеров, содержащих лексически схожие, но семантически различающиеся тексты. Такой подход направлен на повышение способности модели различать смысловые различия в научных текстах.

Проектируемый подход к дообучению модели и использованию графа цитирований формирует основу для последующих экспериментальных исследований. В дальнейшем планируется изучение:

- влияния направления и глубины обхода графа цитирований на качество поиска;
- оптимального соотношения текстовых и графовых признаков;
- эффективности различных конфигураций LoRA-адаптеров;
- изменения метрик качества поиска (Precision@k, Recall, MRR).

Результаты данных исследований предполагается использовать для дальнейшего развития системы и повышения качества семантического поиска.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНЕГО ЦИТИРОВАНИЯ

Для проверки гипотезы о том, что использование информации о внешних цитированиях повышает релевантность выдачи, проведен воспроизводимый эксперимент на графе цитирований коллекции OpenAlex [17]. В качестве текстовой основы использовались эмбединги модели intfloat/multilingual-e5-large [15, 16].

Для каждого документа формировались расширенные векторные представления, учитывающие первый и второй уровни внешних цитирований:

$$v_i = \text{norm}(w_{self} \cdot e_i + w_{in1} \cdot c_{in1} + w_{out1} \cdot c_{out1} + w_{in2} \cdot c_{in2} + w_{out2} \cdot c_{out2}).$$

Для исключения утечки информации граф разбивался по ребрам: 5% ребер откладывались в тестовую выборку, а оставшиеся использовались для построения признаков 1-го и 2-го уровней. В качестве запросов использовались названия статей, релевантными документами для запроса считались статьи, связанные с запросной статьей по отложенным ребрам цитирования. Оценка проводилась метриками Precision@k, Recall@k и MRR@k при $k \in \{1, 5, 10\}$ (90 запросов; 159 499 документов с ненулевой степенью цитирования).

1. c_{in1} – среднее эмбедингов работ, которые ссылаются на (cited-by);
2. c_{out1} – среднее эмбедингов работ, на которые ссылается (cites);
3. c_{in2} и c_{out2} – второй уровень цитирования (усреднение соответствующих векторов первого уровня по соседям).

Итоговый вектор документа вычислялся как нормированная линейная комбинация:

Базовый вариант (только текст, $w_{self} = 1$) сравнивался с вариантом, учитывающим внешние цитирования 1–2 уровня. В ходе эксперимента было найдено наилучшее сочетание весов $w_{self} = 1.00, w_{in1} = 0.05, w_{out1} = 0.00, w_{out2} = 0.03, w_{in2} = 0.025$. Подбор весов выполнялся на валидационной части обучающего графа перебором сетки коэффициентов с нормировкой суммы весов.

При добавлении внешнего цитирования наблюдается рост всех рассматриваемых метрик по сравнению с текстовым базисом, сравнение представлено в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение метрик

Наименование	Базовый вариант	Внешние цитирования	Изменение
P@1	0.1111	0.1333	19.98 %
R@1	0.1056	0.1278	21.02 %
MRR@1	0.1111	0.1333	19.98 %
P@5	0.0644	0.0689	6.98 %
R@5	0.2944	0.3167	7.57 %
MRR@5	0.1815	0.2039	12.34 %
P@10	0.0400	0.0433	8.25 %
R@10	0.3667	0.3944	7.55 %
MRR@10	0.1920	0.2153	12.14 %

Полученные результаты показывают полезность внешнего цитирования как

дополнительного сигнала для поиска и рекомендаций связанных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье представлен обзор систем семантического поиска научных публикаций и применяемых подходов. Представлен архитектурный и методический подход к построению системы семантического поиска научных публикаций, основанной на объединении текстовой семантики и информации о внешнем цитировании. Предложенная архитектура обеспечивает гибкость и расширяемость системы, а также создает основу для дальнейшего дообучения нейросетевой модели и экспериментальной оценки ее эффективности.

Дополнительно выполнена экспериментальная оценка влияния

внешнего цитирования на качество семантического поиска без дообучения модели. Полученные результаты демонстрируют рост метрик Precision@k, Recall@k и MRR@k по сравнению с базовым текстовым вариантом.

Полученные в ходе работы результаты формируют основу для последующих экспериментальных исследований, направленных на оценку влияния графа цитирований и дообучения нейросетевой модели на качество семантического поиска. Разработанный подход может быть использован при создании интеллектуальных информационно-поисковых систем в научных цифровых библиотеках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Harzing, A.-W.** Google Scholar, Scopus and the Web of Science: A Longitudinal and Cross-Disciplinary Comparison / A.-W. Harzing, S. Alakangas. – DOI 10.1007/s11192-015-1798-9 // *Scientometrics*. – 2016. – Vol. 106, № 2. – P. 787-804 ; Springer Nature Linr : website. – URL:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11192-015-1798-9> (дата обращения: 18.10.2025).

2. Construction of the Literature Graph in Semantic Scholar / W. Ammar, D. Groeneveld, C. Bhagavatula [et al.]. – DOI 10.18653/V1/N18-3011 // *Proceedings of NAACL-HLT 2018 (Industry Track)*. – 2018. – May. – P. 84-91. – URL: <https://aclanthology.org/N18-3011/> (дата обращения: 18.10.2025).

3. AMiner: Search and Mining of Academic Social Networks / H. Wan, Y. Zhang, J. Zhang, J. Tang. – DOI 10.1162/dint_a_00006 // *Data Intelligence*. – 2019. – Vol. 1. – P. 58-76. – URL: <https://direct.mit.edu/dint/article/1/1/58/9974/AMiner-Search-and-Mining-of-Academic-Social> (дата обращения: 18.10.2025).

4. National Library of Medicine. About PubMed : база данных. – Мэриленд, [2002?]-.... – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/about/> (дата обращения: 18.10.2025).

5. **Ginsparg, P.** ArXiv at 20 / P. Ginsparg. – DOI 10.1038/476145a // *Nature*. – 2011. – Vol. 476, № 7359. – P. 145-147. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21833066/> (дата обращения: 18.10.2025).

6. Neo4j, Inc. Neo4j Documentation : электронный ресурс. – [Б.м.], 2005-.... – URL: <https://neo4j.com/docs/> (дата обращения: 12.01.2026).

7. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding / J. Devlin, M.-W. Chang, K. Lee, K. Toutanova // *Proceedings of NAACL-HLT 2019*. – Minneapolis, 2019. – P. 4171-4186. – URL: <https://aclanthology.org/N19-1423.pdf> (дата обращения: 18.10.2025).

8. **Beltagy, I.** SciBERT: A Pretrained Language Model for Scientific Text / I. Beltagy, K. Lo, A. Cohan // *Proceedings of EMNLP 2019*. – URL: <https://aclanthology.org/D19-1371/> (дата обращения: 18.10.2025).

9. **Reimers, N.** Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks / N. Reimers, I. Gurevych // arXiv:1908.10084. – URL: <https://arxiv.org/abs/1908.10084> (дата обращения: 18.10.2025).

10. **Douze, M.** The Faiss Library / M. Douze, J. Johnson, H. Jégou // arXiv:2401.08281. – URL:

<https://arxiv.org/pdf/2401.08281> (дата обращения: 18.10.2025).

11. **Malkov, Yu.A.** Efficient and Robust Approximate Nearest Neighbor Search Using Hierarchical Navigable Small World Graphs / Yu.A. Malkov, D.A. Yashunin. – DOI 10.1109/TPAMI.2018.2889473 // IEEE TPAMI. – 2020. – Vol. 42, № 4. – P. 824-836. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1109/TPAMI.2018.2889473> (дата обращения: 18.10.2025).

12. The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web / L. Page, S. Brin, R. Motwani, T. Winograd // The PageRank Citation Ranking: Bringing Order to the Web. - Stanford InfoLab Publication Server. – URL: <https://ilpubs.stanford.edu/422/> (дата обращения: 18.10.2025).

13. **Manning, C.D.** Introduction to Information Retrieval / C.D. Manning, P. Raghavan, H. Schütze // Cambridge, England : Cambridge University Press, 2008. – 546 p. – URL: <https://nlp.stanford.edu/IR-book/pdf/irbookonlinereading.pdf> (дата обращения: 18.10.2025).

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

Насонов Николай Сергеевич

студент кафедры автоматизированных систем управления,

Липецкий государственный технический университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул.Московская, д.30.

e-mail: nasonovniolai@gmail.com

14. **Craswell, N.** Mean Reciprocal Rank (MRR) / N. Craswell // Encyclopedia of Database Systems. – Springer, 2009. – URL: https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007/978-0-387-39940-9_488 (дата обращения: 18.10.2025).

15. Multilingual E5 Text Embeddings: A Technical Report / L. Wang, N. Yang, X. Huang [et al.] // arXiv:2402.05672. 2024. – URL: <https://arxiv.org/abs/2402.05672> (дата обращения: 12.01.2026).

16. intfloat. multilingual-e5-large: Model Card. Hugging Face : электронный ресурс. – URL: <https://huggingface.co/intfloat/multilingual-e5-large> (дата обращения: 12.01.2026).

17. **Priem, J.** OpenAlex: A fully-open index of scholarly works, authors, venues, institutions, and concepts / J. Priem, H. Piwowar, R. Orr // arXiv:2205.01833. – URL: <https://arxiv.org/abs/2205.01833> (дата обращения: 18.10.2025).

18. LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models / E.J. Hu, Y. Shen, P. Wallis [et al.] // arXiv:2106.09685. 2021. – URL: <https://arxiv.org/abs/2106.09685> (дата обращения: 12.01.2026).

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.

ORCID 0000-0003-0012-8103

e-mail: sedykh-irina@yandex.ru

Nasonov Nikolay Sergeevich

Student of the Department of Automated Control Systems

Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya St., 30.

e-mail: nasonovniolai@gmail.com

М.Ю. ШИШОВ, Р.Н. БЕЛОКОПЫТОВ, Е.С. ДУВАНОВ

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СДВИЖНЫХ ВОРОТ НА РАЗЛИЧНЫХ ПЛАТФОРМАХ
ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье выполнен сравнительный анализ программной реализации системы автоматизированного управления сдвижными воротами на трех платформах ПЛК: Siemens S7-1500, Siemens LOGO! и ONI PLR-S CPU1410. Рассмотрены технические характеристики контроллеров, особенности реализации единой логики управления (включая приоритетную обработку аварийных ситуаций и прерывание движения), а также эксплуатационные параметры — время реакции, надёжность, энергопотребление и простота диагностики. Проведён экономический анализ, охватывающий стоимость оборудования, разработки и обслуживания ПО. На основе полученных данных сформулированы рекомендации по выбору оптимальной платформы в зависимости от условий эксплуатации, требований к надёжности и бюджетных ограничений.

Ключевые слова: автоматизированные сдвижные ворота, программируемые логические контроллеры, сравнительный анализ, промышленная автоматизация.

M.Y. SHISHOV, R.N. BELOKOPYTOV, E.S. DUVANOV

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF SOFTWARE
IMPLEMENTATION OF AUTOMATED SLIDING GATES ON DIFFERENT
PLATFORMS OF PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article presents the results of a comparative analysis of the software implementation of the sliding gate automated control system on three PLC platforms: Siemens S7-1500, Siemens LOGO! and ONI PLR-S CPU1410. The technical characteristics of controllers, features of implementing unified control logic (including priority processing of emergency situations and traffic interruption), as well as operational parameters - reaction time, reliability, energy consumption and ease of diagnosis - are considered. The economic analysis has been carried out, covering the cost of equipment, software development and maintenance. Based on the data obtained, recommendations are formulated for choosing the optimal platform depending on operating conditions, reliability requirements and budget constraints.

Keywords: automated sliding gate, programmable logic controllers, comparative analysis, industrial automation.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция к развитию различных систем управления, направленная на внедрение интеллектуальных решений, интегрируемых в комплексные экосистемы

«умного предприятия». Современные на текущий момент программируемые логические контроллеры (ПЛК) предоставляют широкие возможности для создания надежных и функциональных систем управления, при этом выбор оптимальной аппаратно-программной платформы остается ключевой задачей

при проектировании. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки методических рекомендаций по выбору ПЛК на примере автоматизации сдвижных ворот в зависимости от конкретных условий эксплуатации, требований к надежности и экономической целесообразности. Особенно значимым является малое количество практических рекомендаций по выбору оптимального контроллера для решения прикладных задач автоматизации с учетом современных тенденций развития технологий интернета вещей. Наиболее перспективными для реализации систем управления сдвижными воротами являются три платформы: промышленный контроллер Siemens S7-1500 с расширенными возможностями интеграции, бюджетное решение Siemens LOGO! для объектов с базовыми требованиями и отечественный контроллер ONI PLR-S CPU1410, демонстрирующий оптимальное соотношение цены и качества. Важным аспектом при выборе ПЛК является возможность интеграции систем управления с экосистемами умного предприятия и промышленного интернета вещей, что обеспечивает расширенную функциональность и удаленное управление. В данной работе проводится комплексный анализ программных реализаций системы управления сдвижными воротами на различных ПЛК с оценкой их технических характеристик, надежности, стоимости и возможностей интеграции. Результаты исследования позволяют разработать практические рекомендации для инженеров и специалистов по автоматизации при выборе оптимального контроллера для конкретных задач.

ОПИСАНИЕ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПЛК

Важным этапом в разработке программного обеспечения для системы управления является выбор платформы, соответствующей требованиям задачи. Для реализации программного обеспечения системы автоматизированного управления сдвижными воротами были выбраны три

различные платформы ПЛК, отличающиеся по функциональным возможностям, стоимости и области применения.

Контроллер Siemens S7-1500 представляет собой промышленную ПЛК-платформу высокого класса, предназначенную для сложных автоматизированных систем с повышенными требованиями к надёжности, производительности и интеграции. Контроллер S7-1500 идеально подходит для объектов с интенсивной эксплуатацией, высокими требованиями к безопасности и необходимостью интеграции в корпоративные системы управления на уровне «умного предприятия».

Siemens LOGO! — это компактный логический контроллер начального уровня, ориентированный на простые задачи автоматизации в бытовом и мелком промышленном секторе [6]. LOGO! — это оптимальный вариант для частных домовладений, небольших предприятий и объектов с ограниченным бюджетом и базовыми требованиями к функциональности.

ONI PLR-S — это отечественное программируемое логическое реле, разработанное компанией «ОНИ» для задач среднего уровня сложности. Данная платформа сочетает в себе доступную стоимость и достаточную функциональность для многих промышленных и коммунальных применений. ONI PLR-S демонстрирует лучшее соотношение цены и качества для объектов со средней интенсивностью использования и умеренными требованиями к надежности и расширяемости.

Таким образом, выбранные платформы охватывают широкий спектр применений — от высоконадёжных промышленных решений (S7-1500) до простых и экономичных систем для частного сектора (LOGO!) и сбалансированных решений на отечественной элементной базе (ONI PLR-S).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПЛК

Логика работы программы построена на приоритетной обработке аварийных ситуаций. При нажатии кнопки «Открыть» система проверяет состояние концевого выключателя «Закрыто» и при подтверждении закрытого положения активирует сигнальный маяк на 5 секунд для предупреждения персонала. После задержки запускается двигатель открытия, и ворота движутся до срабатывания концевого выключателя «Открыто». Аналогично работает процесс закрытия ворот с предварительной проверкой открытого положения. Защитный нажимной выключатель имеет самый высокий приоритет и немедленно останавливает ворота при обнаружении препятствия во время закрытия. Кнопка аварийной остановки позволяет прервать движение ворот в любом положении. При аварийных ситуациях сигнальный маяк переходит в режим мигания для привлечения внимания персонала. Нажатие любой управляющей кнопки во время движения ворот приводит к их немедленной остановке. Система постоянно отслеживает состояние конечных выключателей для корректного определения положения ворот. Все входные сигналы фильтруются для предотвращения ложных срабатываний от помех. Программа реализует взаимную блокировку двигателей открытия и закрытия для исключения их одновременного включения. Требования к системе включают высокую надежность, безопасность эксплуатации, простоту управления и защиту от несанкционированного доступа.

Обязательными являются предупреждающая сигнализация перед началом движения и защитные устройства против травмирования. Входы системы: I1 (SB_Open) – кнопка открытия, I2 (SB_Closed) – кнопка закрытия, I3 (SB_Stop) – аварийная остановка, I4 (SQ_Open) – концевой выключатель «Открыто», I5 (SQ_Closed) – концевой выключатель «Закрыто», I6 (SQ_Safety) – защитный нажимной выключатель. Выходы системы: Q1 (KM1_Open) – управление двигателем открытия, Q2 (KM2_Closed) – управление двигателем закрытия, Q3 (Beacon) – сигнальный маяк с возможностью постоянного свечения и мигания. Система должна функционировать в широком диапазоне температур и влажности, характерных для промышленного применения. Обеспечивается энергонезависимое хранение состояния системы при кратковременных отключениях питания. Время реакции на аварийные ситуации не должно превышать 100 мс для обеспечения безопасности. Программное обеспечение должно иметь защиту от сбоев и возможность диагностики неисправностей. Индикация текущего состояния ворот должна быть визуальной и понятной для оператора [1–5]. Система должна поддерживать возможность ручного управления в аварийном режиме при отказе основной автоматики. Все электрические цепи должны быть гальванически развязаны для предотвращения помех и повышения безопасности. Программное обеспечение должно быть защищено от несанкционированного изменения параметров настроек. На рис. 1 представлен алгоритм программы.

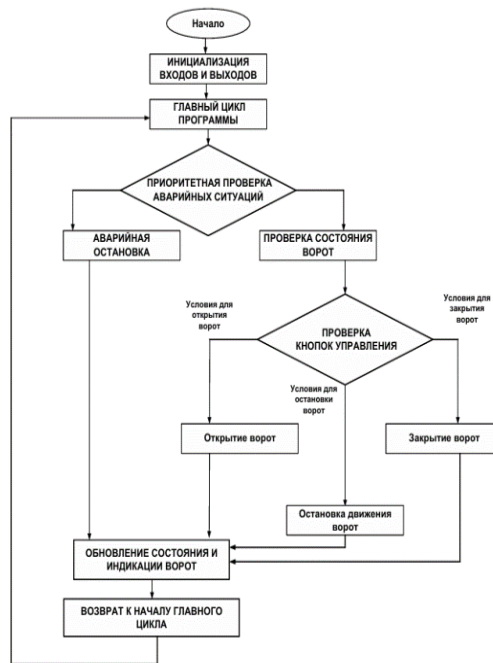


Рис. 1. Алгоритм работы программы

На рис.2 показан исходный код программы для управления автоматизированными воротами [7]. Для отечественного контроллера ONI PLR-S программная реализация выполнена в среде ONI PLR Studio также с использованием FBD. Исходный код представлен на рис. 3.

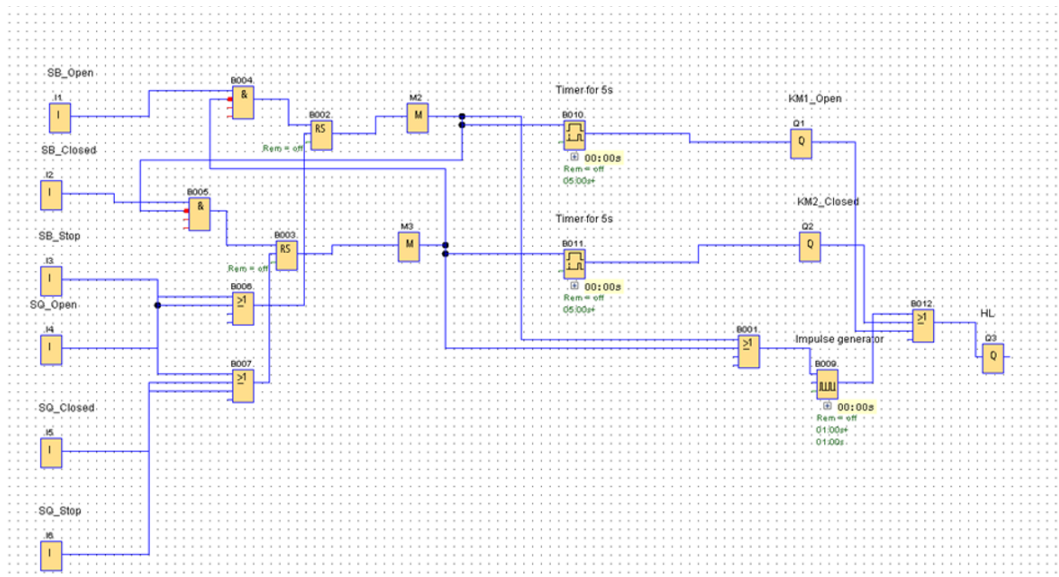


Рис. 2. Исходный код программы в LOGO!

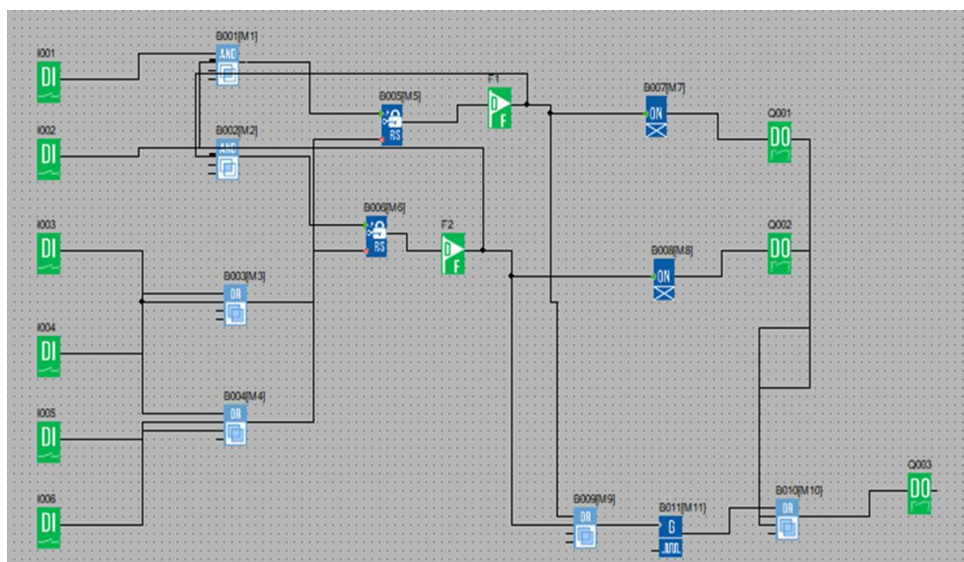


Рис. 3. Исходный код программы ONI PLR-S

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛАТФОРМ ПЛК ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СДВИЖНЫМИ ВОРОТАМИ

Параметры для сравнения платформ ПЛК (Siemens S7-1500, ONI PLR-S CPU1410, Siemens LOGO!) были выбраны на основе требований технического задания к системе автоматизированного управления сдвижными воротами и критериев практической применимости в реальных условиях эксплуатации. Время реакции системы напрямую влияет на безопасность, особенно при срабатывании защиты от препятствий, поэтому оно является ключевым параметром для оценки надёжности. Энергопотребление учитывалось с точки зрения эксплуатационных расходов и автономности работы, особенно при питании от резервных источников.

Был разработан НМИ (human machine interface) с целью удобства и безопасности использования автоматизированных сдвижных ворот в соответствии с

техническим заданием. Интерфейс НМИ представлен на рис. 4.

Надёжность и устойчивость к сбоям важны для обеспечения бесперебойной работы на промышленных и муниципальных объектах, где недопустимы простои. Простота диагностики и обслуживания определяет квалификационные требования к персоналу и скорость устранения неисправностей.

Экономические параметры — стоимость оборудования, разработка ПО и обслуживание — позволяют оценить целесообразность внедрения той или иной платформы в зависимости от бюджета заказчика. Эти критерии в совокупности обеспечивают комплексную оценку, отражающую как технические, так и практические аспекты выбора ПЛК для задач автоматизации сдвижных ворот. Сравнительная характеристика платформ ПЛК по ключевым параметрам представлена в табл. 1.

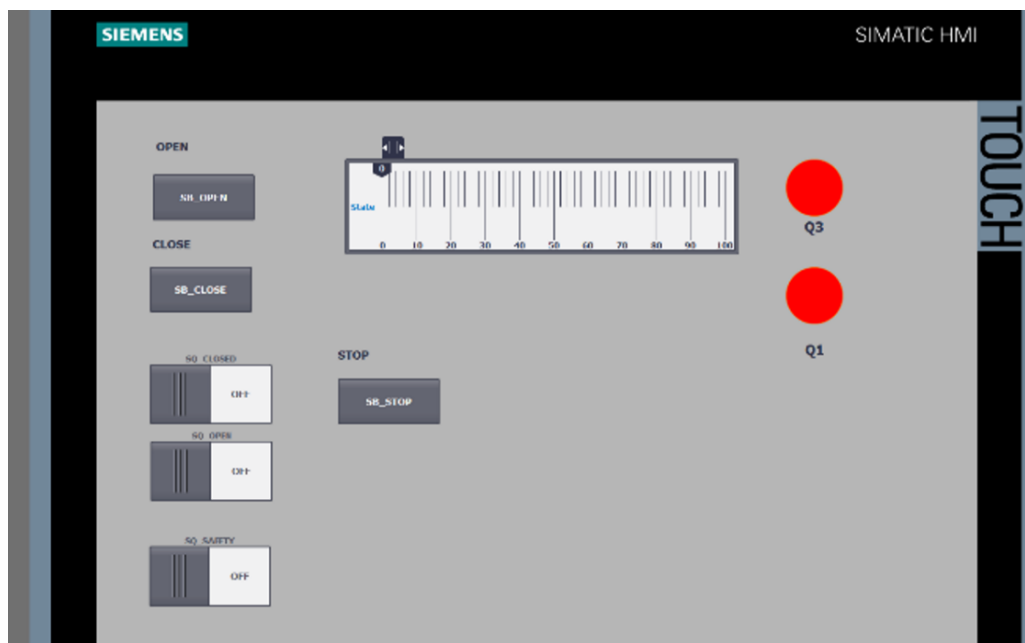


Рис. 4. Реализация HMI

Таблица 1

Сравнительная характеристика платформ ПЛК по ключевым параметрам

Параметр сравнения	Siemens S7-1500	ONI PLR-S	Siemens LOGO!
Время реакции системы	20 мс	60–100 мс	100–150 мс
Энергопотребление	15–20 Вт	8–12 Вт	3–5 Вт
Надежность и устойчивость к сбоям	Четырехуровневая система защиты	Базовые механизмы защиты данных	Базовая защита от сбоев
Простота диагностики и обслуживания	Высокая сложность. Требует высококвалифицированного персонала. Расширенные возможности удаленной диагностики	Средняя сложность	Наиболее простой в обслуживании
Стоимость оборудования	220 000–330 000 Р	60 000–80 000 Р	23 000–35 000 Р
Стоимость разработки ПО	100 000–150 000 Р	50 000–70 000 Р	25 000–40 000 Р
Стоимость обслуживания (годовые)	30 000–50 000 Р	15 000–25 000 Р	8 000–15 000 Р
Оптимальные сценарии применения	Объекты с высокими требованиями к надежности и интеграции в системы «умного предприятия». Промышленные предприятия с интенсивным использованием ворот	Муниципальные и коммерческие предприятия среднего масштаба с умеренными требованиями к надежности и функциональности. Оптимальное соотношение цены и качества	Частные домовладения, небольшие предприятия с базовыми требованиями к автоматизации

Таблица наглядно демонстрирует, что выбор оптимальной платформы ПЛК зависит от конкретных требований к системе управления сдвижными воротами, бюджетных возможностей и перспектив интеграции в общую экосистему. Учитывая данные сравнения, можно сделать вывод: для крупных промышленных объектов целесообразно применять Siemens S7-1500, для муниципальных и коммерческих предприятий – ONI PLR-S CPU1410, а для частных домовладений – Siemens LOGO!

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отечественный контроллер ONI PLR-S обеспечивает наилучшее соотношение цены и качества для муниципальных и коммерческих предприятий среднего масштаба. Для частных домовладений и небольших объектов экономически целесообразно применение контроллера Siemens LOGO! с минимальными затратами на приобретение и обслуживание. Разработанные программные решения полностью соответствуют требованиям технического задания, обеспечивая безопасную эксплуатацию в аварийных ситуациях и возможность прерывания движения в любом положении. Практическая значимость работы заключается в методических рекомендациях по выбору программно-аппаратных средств с учетом требований безопасности и перспектив интеграции с

В ходе исследования была разработана единая алгоритмическая основа управления сдвижными воротами, включающая приоритетную обработку аварийных ситуаций и предупреждение персонала за пять секунд до начала движения. Сравнительный анализ трех платформ ПЛК показал, что выбор оптимального решения зависит от конкретных требований и экономических ограничений. Для объектов с высокими требованиями к надежности и интеграции с системами «умного предприятия».

современными экосистемами. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией систем управления воротами с IoT-платформами для удаленного мониторинга и диагностики и MATLAB SIMULINK [8–9]. Развитие алгоритмов прогнозирующего обслуживания на основе анализа эксплуатационных данных повысит надежность систем управления [12–16]. Адаптация программного обеспечения для работы в условиях нестабильного электропитания особенно актуальна для российских регионов. Все поставленные цели исследования были достигнуты с разработкой и сравнительным анализом программных решений для трех различных платформ ПЛК. Полученные результаты позволяют оптимизировать выбор оборудования для конкретных задач автоматизации сдвижных ворот.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бесекерский, В.А.** Теория систем автоматического управления : учебник / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – 4-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2020. – 752 с.
2. **Гуров, В.В.** Микропроцессорные системы : учебник / В.В. Гуров. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 336 с. – ISBN 978-5-16-009950-7.

3. **Ким, Д.П.** Теория автоматического управления. Линейные системы : учебник для вузов / Д.П. Ким. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Юрайт, 2023. – 310 с.
4. **Кормен, Т.** Алгоритмы: построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест ; пер. с англ. А.Г. Хачатряна. – 3-е изд. – Москва : Диалектика-Вильямс, 2020. – 1312 с. – ISBN 978-5-907114-11-1.
5. **Кнут, Д.** Искусство программирования. Т. 1-4 / Д. Кнут ; пер. с англ.

С.В. Канцелевича. – Москва : Вильямс, 2016. – 848 с.

6. **Яковлев, А.В.** Управление производством: планирование и диспетчеризация / А.В. Яковлев. – 2-е изд. – Москва : 1С, 2023. – 219 с. – ISBN 978-5-9677-2707-8.

7. **Рамбо, Д.** UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. Основы / Д. Рамбо. – Санкт-Петербург : Питер, 2005. – 545 с.

8. Analysis of control system models with conventional LQR and fuzzy LQR controller / Y.I. Kudinov, F.F. Pashchenko, A.Y. Kelina [et al.] // Procedia Computer Science. – 2019. – Т. 150. – С. 737-742.

9. Fuzzy quadratic control of thermal object / F.F. Pashchenko, Y.I. Kudinov, A.F. Pashchenko, E. S. Duvanov // 2019 1st International Conference on Control Systems, Mathematical Modelling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). – New Jersey, 2019. – С. 288-293.

10. **Ключарев, А.А.** Программирование микроконтроллеров STM32 : учебное пособие / А.А. Ключарев, К.А. Кочин, А.А. Фоменкова. – Санкт-Петербург : Лань, 2023. – 216 с. – ISBN 978-5-8088-1829-3.

11. **Пантелеев, А.В.** Теория управления в примерах и задачах : учебное пособие / А.В. Пантелеев, А.С. Бортаковский. – 4-е

изд., стер. – Москва : ИНФРА-М, 2021. – 584 с.

12. **Харрис, Д.** Цифровая схемотехника и архитектура компьютера / Д. Харрис, С. Харрис ; пер. с англ. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 792 с. – ISBN 9780128200643.

13. **Шишов, О.В.** Технические средства автоматизации и управления. Микропроцессорные контроллеры промышленных сетей : учебное пособие / О.В. Шишов. – Москва : ИНФРА-М, 2022. – 426 с.

14. **Юревич, Е.И.** Теория автоматического управления : учебник / Е.И. Юревич. – 4-е изд., перераб. и доп. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2020. – 560 с.

15. **Гусев, Н.А.** Сравнительный анализ архитектур современных микроконтроллеров для задач цифровой обработки сигналов / Н.А. Гусев, П.В. Петров // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2023. – № 4 (226). – С. 15-23.

16. **Шаветов, С.В.** Особенности реализации цифровых ПИД-регуляторов на базе микроконтроллеров STM32 / С.В. Шаветов // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2023. – № 6. – С. 32-38.

Сведения об авторах:

Шишов Михаил Юрьевич

Студент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический университет.

3988055, Россия, г. Липецк, ул.
Московская, д. 30.

mikhailshishov@hisgrace.ru

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:

Shishov Mikhail Yuryevich

Student of the Department of Computer
Science Lipetsk State Technical University
Lipetsk.

3988055, Lipetsk, Moskovskaya str., 30.

mikhailshishov@hisgrace.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.belocopytov@yandex.ru

Дуванов Евгений Сергеевич
Кандидат технических наук,
Доцент кафедры информатики,
Липецкий государственный технический
университет.
3988055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
evgenyduvanov@yandex.ru

Duvanov Eugene Sergeevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of
Computer Science,
Lipetsk State Technical University Lipetsk.
3988055, Lipetsk, Moskovskaya str., 30.
evgenyduvanov@yandex.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_38
УДК 621.7-51

Ю.А. ЦЫГАНКОВ, А.А. ВЛАДИМИРОВ, А.И. ШАПОВАЛОВ, Е.А. КУДИНОВ

**ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗРАБОТКИ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА
ЭЛЕКТРОИСКРОВОЙ ОБРАБОТКИ С ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ МОДУЛЕМ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОКРЫТИЯ**

Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского технологического университета «МИСИС»

Аннотация: В статье представлен краткий обзор литературных источников по теме создания автоматизированных систем управления процессами формирования покрытий на основе искусственного интеллекта. Представлены условия и области эксплуатации деталей промышленного оборудования с характерными видами износа рабочих поверхностей. Представлено описание типовых деталей, на которых целесообразно применение электроискрового легирования. Представлены некоторые области применения интеллектуальных систем для обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин. Представлен обзор литературных источников по теме стабилизации и автоматизации процессов электроискрового легирования с основными дестабилизирующими параметрами. Представлены перспективы разработки мобильного комплекса электроискровой обработки с интеллектуальным модулем обеспечения качества покрытия. Представлена предполагаемая схема функционирования интеллектуальной системы обеспечения качества электроискрового покрытия. Сформулированы выводы и дальнейшие направления исследований.

Ключевые слова: машинное обучение, анализ данных, интеллектуальная система, электроискровое легирование, сплошность, поверхностное упрочнение, микротвердость, толщина.

PREREQUISITES FOR DEVELOPING A MOBILE ELECTRIC SPARK PROCESSING COMPLEX WITH AN INTELLIGENT COATING QUALITY MODULE

Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the National University of Science and Technology "MISIS"

Abstract: The article presents a brief overview of the list of references on the development of automated control systems for coating formation processes based on artificial intelligence. It describes the operating conditions and areas of industrial equipment parts with typical types of wear on working surfaces. Typical parts for which it is expedient to use electric spark alloying are described. Several areas of applying intelligent systems to ensure the quality of the surface layer of machine parts are presented. The list of references on the stabilization and automation of electric spark alloying processes with key destabilizing parameters is reviewed. Prospects for developing a mobile electric spark processing complex with an intelligent coating quality module are presented. A proposed operational scheme for an intelligent system to ensure the quality of electric spark coatings is presented. Conclusions and further research directions are formulated.

Keywords: machine learning, data analysis, intelligent system, electric spark alloying, continuity, surface hardening, microhardness, thickness.

ВВЕДЕНИЕ

Значительное количество деталей машиностроительного производства эксплуатируется в условиях повышенного трения (как скольжения, так и качения), абразивного и адгезионного износов, агрессивного воздействия окружающей среды и др. Эксплуатация деталей в таких условиях интенсифицирует воздействие указанных выше условий и приводит к повышенному изнашиванию контактных поверхностей.

Областями, в которых эксплуатируются такие детали, можно считать горнодобывающие и металлургические предприятия. Детали подвержены такому воздействию как: высокие и низкие температуры среды; повышенная влажность и запыленность рабочей зоны; кислотное и щелочное воздействие шахтных вод; высокие динамические и знакопеременные нагрузки; высокие контактные напряжения и др.

Примерами таких деталей могут быть эксцентриковые валы дробилок, роторы грунтовых насосов, ролики транспортных рольгангов, валки прокатных станков и др.

Другим примером являются детали судового оборудования, в частности движители и детали винторулевого комплекса, которые работают в условиях повышенных нагрузок, изменяющихся скоростей, коррозионного воздействия, колебания температур, повышенной влажности, абразивной загрязненности окружающей среды, трения. Эрозия и кавитационное изнашивание происходят за счет динамического воздействия потока воды. Фреттинг-коррозия является результатом разрушения металла в условиях контакта двух номинально неподвижных поверхностей при воздействии знакопеременного изгиба или кручения, когда происходит периодическое взаимное перемещение. Максимальная интенсивность такого изнашивания проявляется в морской воде.

Для предотвращения таких видов воздействий возможно применение метода упрочнения электроискровым легированием (ЭИЛ). Применение различных электродных материалов позволяет формировать на поверхностях деталей различные функциональные покрытия, физико-механические свойства

которых обусловлены химическим составом электрода, межэлектродной средой. Однако недостаточно изученным вопросом остается подбор таких параметров, как материал электрода, выбираемый исходя из химических свойств детали и требований, предъявляемых в ходе ее эксплуатации. Помимо этого, на параметры упрочнения оказывает влияние межэлектродная среда, обеспечиваемая в ходе нанесения упрочняющего слоя. Также в значительной степени на качество процесса влияют и параметры функционирования установки в ходе нанесения защитного покрытия. Исходя из широкого перечня внешних факторов, способных оказать влияние на результат в ходе каждого отдельного случая применения ЭИЛ, актуальным для исследования является вопрос создания прогнозирующего функционала, способного, исходя из оценки текущих параметров, выполнять подбор оптимальных параметров для получения требуемого качества защитного покрытия. Учитывая высокие аппроксимационные способности такого подхода как машинное обучение (классический ML, глубокие нейронные сети и пр.), предполагается разработка прогнозного модуля, обученного на экспериментальных результатах. Вопрос оценки качества наносимого покрытия также является достаточно нетривиальным, поскольку применяемые в настоящее время методы, показывающие высокую точность, имеют недостаток в виде репрезентативности оцениваемого участка оценки. Для устранения данного недостатка и повышения энергоэффективности процесса ЭИЛ предполагается разработка функционала оценки сплошности наносимого покрытия посредством инструментов машинного зрения.

Объединение результатов натурных экспериментов, указанных модулей прогнозирования, оценки качества покрытия позволят реализовать прототип автоматизированного программно-технического мобильного комплекса, способного выполнять ЭИЛ в условиях

производственного процесса, обеспечивая устойчивое качество наносимого покрытия для деталей различных свойств.

Актуальность темы исследования обуславливается повышением производительности процесса электроискрового легирования за счет автоматизации процесса формирования покрытия и оптимизации частотно-энергетических параметров установки.

Выявленные зависимости позволят формировать покрытия с требуемыми свойствами на наиболее рациональных режимах легирования в зависимости от применяемого электродного материала и межэлектродной среды.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В статье представлен краткий обзор литературных источников по теме создания автоматизированных систем управления процессами формирования покрытий на основе искусственного интеллекта [1–3]. Применение данных систем позволит снизить себестоимость изготовления машин и механизмов при одновременном повышении их эксплуатационных характеристик за счет выбора рациональной структуры технологического процесса изготовления деталей и режимов обработки.

В последнее время для решения задач, связанных с анализом сложной нелинейной геометрии, широкое применение нашли методы искусственного интеллекта, в частности глубокие нейронные сети [4–6].

Одним из нестабильных технологических процессов, для которого целесообразно проведение механизации и автоматизации, является электроискровое легирование. Электроискровое легирование позволяет формировать на поверхностях деталей функциональные покрытия, обладающие повышенными эксплуатационными характеристиками, определенной сплошностью, микротвердостью и толщиной. Для обеспечения качества формирования покрытий

необходимо достижение сплошности, близкой к 100 %, что обеспечивается рациональной скоростью формирования в зависимости от частотно-энергетического режима, материала электрода и межэлектродной среды.

В работе [7] авторами были проведены исследования по стабилизации процесса электроискрового легирования. Авторами была разработана схема экспериментальной установки. Слежение за процессом осуществлялось с помощью фотокамеры, фотодиода и микрофона. Производилось отслеживание следующих параметров: температуры, состава газовой среды, позиционирования электрода и электрических параметров системы. В результате проведения исследований авторами было предложено устройство управления процессом электроискрового легирования на основе искусственного интеллекта.

Другим направлением управления процессом электроискрового легирования были исследования авторов [8–9], где была разработана адаптивная система управления. Авторами выявлены основные дестабилизирующие и управляемые параметры процесса. Описана перспективность применения методов искусственного интеллекта для управления процессом электроискрового легирования. Особенностью разработанной адаптивной системы является ее применение на станках типа обрабатывающий центр с числовым программным управлением с незначительной модернизацией отдельных элементов станка. Применение разработанной системы возможно как на 3-х, так и на 4-х и 5-и координатных станках.

В работе [10] авторами представлены сведения о текущем состоянии вопроса электроискрового легирования с модулем управления на основе искусственных нейронных сетей. Принципиальных отличий от представленных выше результатов исследований в работе не указано.

В работах [11–12] авторами были проведены исследования электроискрового

легирования с модулем интеллектуального управления процессом. По результатам исследований авторами были разработаны: блок-схема управления, конструкция модуля управления межэлектродным расстоянием и измерительная установка энергетических параметров. Впоследствии была разработана экспериментальная установка, которая позволяет проводить исследования энергетических параметров и распределения тепла с обеспечением постоянства параметров легирования и с исключением человеческого фактора.

В работе [13] авторами рассматриваются параметры автоматизированного электроискрового легирования. Основной упор авторы делают на программный модуль, работающий в инструментальной среде MATLAB. Принцип работы заключается в обработке готового файла, записанного аналого-цифровым преобразователем. Обработка заключается в анализе токов рабочего процесса, звукового сигнала единичного импульса. На основании обработанных данных и входных параметров процесса дается оценка успешности процесса электроискрового легирования.

В работе [14] авторами представлены результаты обзора литературных источников по теме создания автоматизированных систем управления жизненным циклом изделий на основе искусственного интеллекта. Были рассмотрены возможности применения интеллектуальных систем совместно с технологией вибрационного точения с целью обеспечения качества поверхностного слоя и повышения эксплуатационных свойств изделий в таких отраслях как автомобилестроение, авиастроение, космическая техника, горно-металлургическая техника и т. д. В результате проведенного теоретического анализа авторами были представлены перспективы применения вибрационного точения совместно с интеллектуальными системами для обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин при

формировании регулярного микрорельефа. Авторы сформулировали выводы о том, что одним из основных направлений развития современного машиностроения является создание автоматизированных систем управления жизненным циклом изделия на основе искусственного интеллекта. Обосновано предположение о целесообразности создания интеллектуальной системы обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин на основе искусственных нейронных сетей, позволяющей обеспечивать на поверхности детали регулярный микрорельеф заданной формы с требуемой степенью и глубиной.

ВЫВОДЫ

Таким образом, из представленного обзора литературных источников по теме механизации и автоматизации процесса электроискрового легирования можно сделать вывод о перспективности разработки прототипа автомати-

зированного мобильного комплекса, который должен включать в себя следующие модули:

– блок механизации, обеспечивающий взаимное перемещение электрода относительно поверхности детали по требуемой траектории;

– блок электроискрового легирования, работающий в широком диапазоне частотно-энергетических параметров;

– блок, отвечающий за тип и подачу межэлектродной среды;

– адаптивную систему оценки и управления процессом электроискрового легирования, способную, за счет анализа экспериментально установленных зависимостей формирования покрытия, заданных значений микротвердости и толщины, обеспечивать сплошность покрытия, близкую к 100 %, путем варьирования частоты вращения детали, подачи электрода и задания рациональных частотно-энергетических режимов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кабалдин, Ю.Г.** Управление киберфизическими механообрабатывающими системами в цифровом производстве на основе искусственного интеллекта и облачных технологий / Ю.Г. Кабалдин, Д.А. Шатагин, П.В. Колчин. – Москва : Инновационное машиностроение, 2019. – 292 с. – ISBN 978-5-907104-17-4.

2. **Wang, J.** Computational Intelligence in Manufacturing Handbook / J. Wang, A. Kusiak. – Boca Raton, FL : CRC Press, 2001. – 512 p. – DOI 10.1201/9781420041934.

3. Artificial Intelligence for a Sustainable Industry 4.0 / S. Awasthi. M.C. Travieso-Gonzalez, S. Goutam, D.K. Singh. – Cham, Switzerland : Springer, 2021. – 311 p. – ISBN 978-3-030-77069-3.

4. **Акинин, М.В.** Нейросетевые системы искусственного интеллекта в задачах обработки изображений / М.В. Акинин, М.Б. Никифоров, А.И. Таганов. –

Москва : Горячая линия – Телеком, 2017. – 152 с. – ISBN 978-5-9912-0537-5.

5. Классификация изображений наноструктуры поверхности с применением нейро-нечеткой сети / Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков, П.В. Гуляев, Н.И. Осипов // Химическая физика и мезоскопия. – 2017. – Т. 19, № 2. – С. 326-332.

6. **Sinha, A.** Deep Learning 3D Shape Surfaces Using Geometry Images / A. Sinha, J. Bai, K. Ramani. – DOI 10.1007/978-3-319-46466-4_14 // Lecture Notes in Computer Science. – 2016. – Vol. 9910. – P. 223-240.

7. **Ледков, Е.А.** Исследование процессов стабилизации электроискровой обработки / Е.А. Ледков // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – № 4. – С. 63-71.

8. Адаптивная система управления процессом электроискрового легирования / В.М. Давыдов, Д.Д. Якуба, Е.А. Ледков, С.Н. Химухин // Вестник Уфимского государственного

авиационного технического университета. – 2012. – Т. 16, № 4 (49). – С. 144-152.

9. Интеллектуальная система управления процессом электроискрового легирования (ЭИЛ) / В.М. Давыдов, Д.Д. Якуба, Е.А. Ледков [и др.] // Вестник Тихоокеанского государственного университета. – 2014. – № 2 (33). – С. 55-66.

10. Гадалов, В.Н. Некоторые сведения о состоянии современных упрочняющих технологий с акцентом на электроискровое легирование / В.Н. Гадалов, И.В. Ворначева, И.И. Макарова // Auditorium. – 2017. – № 4 (16). – URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-svedeniya-o-sostoyanii-sovremennyh-uprochnyayuschih-tehnologiy-s-aktsentom-na-elektroiskrovoye-legirovanie> (дата обращения: 01.02.2026).

11. Якуба, Д.Д. Экспериментальный комплекс интеллектуального управления процессом электроискрового легирования / Д.Д. Якуба, Е.А. Ледков // Современные технологии : Актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей XIII Международной

научно-практической конференции, Пенза, 27 января 2018 года. В 2 ч. Ч. 1. – Пенза, 2018. – С. 88-93.

12. Ледков, Е.А. Алгоритм оценки энергетических параметров процесса электроискрового легирования. Автоматизированное проектирование в машиностроении : материалы IV международной заочной научно-практической конференции / Е.А. Ледков, Д.Д. Якуба, Ф.В. Безручко. – Новокузнецк : НИЦ МС, 2016. – № 4. – 112 с.

13. Воронин, В.В. Исследование параметров автоматизированного процесса электроискрового легирования / В.В. Воронин, А.И. Иванов // Информационные технологии XXI века : сборник научных трудов / отв. ред. В.В. Воронин. – Хабаровск, 2018. – С. 315-319.

14. Владимиров, А.А. Перспективы применения интеллектуальных систем для обеспечения качества поверхностного слоя деталей машин / А.А. Владимиров, Ю.А. Цыганков. – DOI 10.30987/2782-5957-2025-4-4-11 // Транспортное машиностроение. – 2025. – № 4 (40). – С. 4-11.

Сведения об авторах:

Цыганков Юрий Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизированных и информационных систем управления им. Ю.И. Ерёменко, Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) Национального исследовательского технологического университета «МИСИС».

309516, Россия, г. Старый Оскол, микрорайон им. Макаренко, 42.
tsy-18@yandex.ru

Information about the authors:

Tsygankov Yuri Aleksandrovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automated and Information Control Systems named after Yu.I. Eremenko, Sary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) of the National University of Science and Technology MISIS. 309516, Russia, Sary Oskol, Makarenko Microdistrict, 42.
tsy-18@yandex.ru

Владимиров Александр Андреевич

кандидат технических наук, доцент
кафедры технологии и оборудования в
металлургии и машиностроении им. В.Б.
Крахта,
Старооскольский технологический
институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского
технологического университета
«МИСИС».

309516, Россия, г. Старый Оскол,
микрорайон им. Макаренко, 42.
vladimirov.al.an@yandex.ru

Шаповалов Антон Иванович

кандидат технических наук, доцент
кафедры технологии и оборудования в
металлургии и машиностроении им.
В.Б. Крахта, Старооскольский
технологический институт
им. А.А. Угарова (филиал) Национального
исследовательского технологического
университета «МИСИС».

309516, Россия, г. Старый Оскол,
микрорайон им. Макаренко, 42.
shapowalow130477@yandex.ru

Кудинов Егор Алексеевич

ассистент кафедры технологии и
оборудования в металлургии и
машиностроении им. В.Б. Крахта,
Старооскольский технологический
институт им. А.А. Угарова (филиал)
Национального исследовательского
технологического университета
«МИСИС».

309516, Россия, г. Старый Оскол,
микрорайон им. Макаренко, 42.
kudinov19991704@mail.ru

Vladimirov Aleksandr Andreevich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Department of Technology and
Equipment in Metallurgy and Mechanical
Engineering named after V.B. Krakht,
Sary Oskol Technological Institute named
after A.A. Ugarov (branch) of the National
University of Science and Technology MISIS.
309516, Russia, Sary Oskol,
Makarenko Microdistrict, 42. Makarenko, 42.
vladimirov.al.an@yandex.ru

Shapovalov Anton Ivanovich

Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Department of Technology and
Equipment in Metallurgy and Mechanical
Engineering named after V.B. Kracht,
Sary Oskol Technological Institute named
after A.A. Ugarov (branch) of the National
University of Science and Technology MISIS.
309516, Russia, Sary Oskol, Makarenko
Microdistrict, 42.

shapowalow130477@yandex.ru

Kudinov Egor Alekseevich

Assistant Lecturer, Department of
Technology and Equipment in Metallurgy and
Mechanical Engineering named after V.B.
Kracht,
Sary Oskol Technological Institute named
after A.A. Ugarov (branch) of the National
University of Science and Technology MISIS.
309516, Russia, Sary Oskol, Makarenko
Microdistrict, 42.

kudinov19991704@mail.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_45
УДК 347.51

Е.А. БОЙКО, Н.З. БОЙКО, З.У. БОЛОТАШВИЛИ

**ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ
ПРОИСШЕСТВИЙ В НАШЕЙ СТРАНЕ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СНИЖЕНИЮ
РИСКА ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ**

Северодонецкий технологический институт Луганского государственного
университета имени Владимира Даля, Северодонецк

Аннотация: В статье проведен глубокий анализ научных исследований в области возникновения дорожно-транспортных происшествий в РФ. На основании научных изысканий известных исследователей в области дорожно-транспортных происшествий выявлены основные и ключевые факторы возникновения дорожно-транспортных происшествий. В выводах представлена стратегия снижения рисков возникновения дорожно-транспортных происшествий на автомобильных дорогах нашей страны.

Ключевые слова: дорожно-транспортные происшествия, факторы, риск, проблемы, причины возникновения, Федеральный закон, правила дорожного движения.

E.A. BOYKO, N.Z. BOYKO, Z.U. BOLOTASHVILI

**REASONS FOR ROAD ACCIDENTS IN OUR COUNTRY AND
RECOMMENDATIONS FOR REDUCING THE RISK OF ACCIDENTS**

Severodonetsk Institute of Technology of the Lugansk State University named after
Vladimir Dahl, Severodonetsk

Abstract: This article provides an in-depth analysis of scientific research on the causes of road accidents in the Russian Federation. Based on the findings of renowned researchers in the field of road accidents, the article identifies the main and key factors contributing to road accidents. The conclusions present a strategy for reducing the risk of road accidents on the roads of our country.

Keywords: road accidents; factors; risk; problems; causes; Federal Law; traffic regulations.

ВВЕДЕНИЕ

Дорожно-транспортные происшествия возникают не на пустом месте [1–3], этому способствует бурное развитие научно-технического прогресса (обуславливает в себе значительное увеличение количества машин и глобальный рост интенсивности дорожного движения); использование на автомобильных дорогах автотранспортных средств с различными техническими характеристиками (оснастка средствами безопасности, наличие активных и

пассивных средств безопасности, которые способствуют минимизации возникновения аварий, и самое главное – защите пассажиров и водителя от телесных повреждений в результате столкновения); качество дорожного покрытия (главным фактором безопасности дорожного движения считается сцепление колес с дорожным покрытием, водоотвод, устойчивость покрытия к воздействию климатических условий и высоких знакопеременных нагрузок), погодных

условий (туман, гололедица, снегопад, проливные дожди, молнии, селевые потоки, смерчи, ураганы, сходы лавин, камнепады и т. д.) с четырьмя климатическими зонами (в России ярко выражены арктическая, субарктическая, умеренная и субтропическая).

В последние годы в крупных мегаполисах страны стали возникать глобальные причины по разгрузке плотности транспортных потоков [4–6]. На эти мероприятия выделяются огромные средства из бюджета страны, которые направлены на возведение инженерных сооружений в виде строительства многоуровневых развязок (следующие типы развязок: «Клеверный лист», «Треугольная развязка», «Турбо-развязка»), которые позволяют плавно разделять транспортные потоки и уменьшать линии пересечения, что приводит к минимизации заторов, обусловленных одноуровневыми пересечениями и светофорным регулированием транспортных потоков. Несомненно, использование дополнительных полос для съезда и разгона реализует технологическую способность транспортным средствам безопасно и без излишних заторов освобождать главное направление движения.

Самой главной причиной возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) являются психические и физиологические возможности человека [7, 8], так называемый человеческий фактор. Человек, он же водитель, который управляет транспортным средством, в целом является основным звеном в возникновении дорожно-транспортного происшествия.

Проблемами и причинами возникновения ДТП занимались ученые-исследователи:

М.Б. Афанасьева, В.В. Амбарцумян, В.Ф. Бабкова, В.Н. Басков, М.Я. Блинкина, Л.М. Бедрин, Д.А. Боровик, Б.Е. Боровской, С.В. Булатов, Б.И. Борисов, Я.В. Васильева, М.В. Власова, В.Н. Галушко, П.В. Гируц, М.Н. Дятлов, Д.В. Иванькович, А.А. Кравченко, П.А. Кравченко, Е.И. Кобиашвили,

В.И. Коноплянко, Ю.Я. Комаров, Р.А. Кудрин, Е.В. Куракина, Е.В. Лифанова, А.Р. Муко-внина, А.А. Евсеева, М.К. Рюмшина, Ю.Б. Суворова, Е.И. Сукач, А.Б. Чубукова, С.А. Чудинов, А.Ю. Шаров, А.В. Шемякина, А.А. Шинкарев и другие авторы [1–10].

При анализе вышеизученных научных работ известных исследователей нами была поставлена цель определить основные и ключевые факторы возникновения ДТП. В ходе научных изысканий нами были выявлены пять основных ключевых факторов возникновения ДТП и их взаимосвязь с регуляторами, которые напрямую и в согласовании друг с другом осуществляют сбор и обработку статистической информации, выработку новой стратегии государства в области безопасности дорожного движения, изменение законодательной базы в сфере безопасности дорожного движения за счет принятия новых законов и постановлений правительства РФ, выявление нарушений уголовного, административного и дисциплинарного характера с последующим наказанием как юридических, так и физических лиц (рис. 1).

Также можно с уверенностью сказать – эти ключевые факторы (рис. 1) управляемы и подвергаются корректировке, управлению через уполномоченные органы Российской Федерации, а именно Правительством Российской Федерации, Федеральными органами исполнительной власти, Органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, Органами местного самоуправления. Ключевым стержнем обеспечения безопасности дорожного движения является Госавтоинспекция Министерства Внутренних Дел Российской Федерации. Далее рассмотрим каждый фактор в функциональном значении.

Первый фактор – «обеспечение безопасности дорожного движения» (рис. 1). Он включает в себя деятельность, направленную на предупреждение причин возникновения ДТП, тяжести их последствий. Эта деятельность регламентируется законами и нормативно-

правовыми актами РФ в строгом соответствии с международными договорами, а именно:

– Федеральным законом от 10 декабря 1995 г. № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения» [11];

– Федеральным законом от 25 апреля 2002 г. № 40-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев транспортных средств» [12];

– Федеральным законом от 09 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности» [13];

– Кодексом об административных правонарушениях Российской Федерации [14];

– Уголовным кодексом Российской Федерации [15];

– Гражданским кодексом Российской Федерации [16];

– нормативными актами федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, иных государственных органов, органов местного самоуправления.

Второй фактор – «участник дорожного движения» (рис. 1). Это физическое лицо, которое непосредственно является участником дорожного движения в роли пешехода, пассажира транспортного средства и самого ответственного за возникновение ДТП — водителя транспортного средства (ст. 2 Федерального закона «О безопасности дорожного движения» [11]).

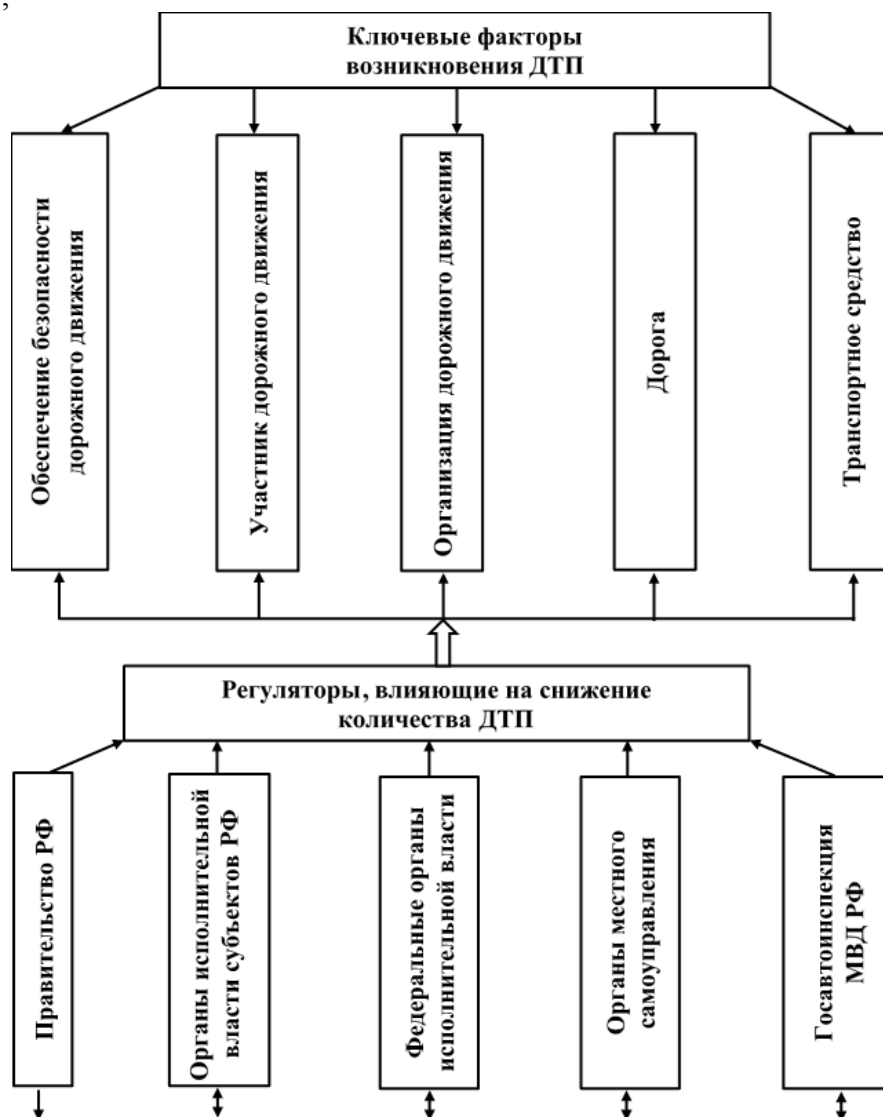


Рис. 1. Блок-схема ключевых факторов возникновения ДТП и регулятора, влияющего на их снижение

Третий фактор — «организация дорожного движения» (рис. 1), который располагает полным комплексом организационно-правовых, организационно-технических мероприятий и распорядительных действий по управлению движением на дорогах и отображается в ст. 9. «Общие требования к организации дорожного движения» Федерального закона «Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [17].

Четвертый фактор — «дорога» — обустроенная или приспособленная и используемая для движения транспортных средств полоса земли либо поверхность искусственного сооружения. Дорога включает в себя одну или несколько проезжих частей, а также трамвайные пути, тротуары, обочины и разделительные полосы при их наличии (см. пункт 1.2 настоящих Правил дорожного движения [18]). Известно, что от качества дороги (состояния дорожного покрытия и элементов инфраструктуры) зависит безопасность дорожного движения. Низкое качество дорог с дефектами, выбоинами, отсутствием дорожной разметки, дорожных знаков напрямую влияет на возникновение ДТП, создавая риск для всех участников дорожного движения и угрозу их здоровью и жизни.

Пятый фактор — «транспортное средство» — устройство, предназначенное для перевозки по дорогам людей, грузов или оборудования, установленного на нем (пункт 1.2 настоящих Правил дорожного движения [18]). Пятый фактор, на наш взгляд, имеет очень много причин, которые повышают риск возникновения ДТП. На дорогах России эксплуатируется порядка 53 миллионов автомобилей [19], что вызывает огромную нагрузку на транспортную инфраструктуру страны, экологические загрязнения, а также, несомненно, увеличивает риск возникновения ДТП. Если говорить о сроке эксплуатации автомобилей, то тут плачевная статистика: количество автотранспортных средств в РФ со сроком

эксплуатации более 10 лет составляет 72,8 % (порядка 40,1 млн. единиц) от общего числа. Статистические данные о сроках эксплуатации автомобилей приводятся в документе правительства РФ [20]. Также можно отметить, что на дорогах России эксплуатируются автомобили с разными технико-эксплуатационными показателями (разная длина тормозного пути, масса, габариты и т. д.), назначение (перевозка пассажиров или грузов, в личных целях, спортивное использование и т. д.). Также стоит острая проблема нахождения автомобилей с иностранной регистрацией на временной основе до одного года на территории РФ, также такая категория повышает риски возникновения ДТП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проанализировав ключевые факторы возникновения ДТП (см. рис. 1) в нашей стране, делаем выводы, в которых основополагающей нитью определяем стратегию снижения рисков возникновения ДТП, а именно:

– по первому фактору «обеспечение безопасности дорожного движения» необходимо ужесточить Кодекс об административных правонарушениях Российской Федерации [14] и Уголовный кодекс Российской Федерации путем увеличения сроков ареста, штрафов и сроков лишения свободы за уголовные преступления в сфере безопасности дорожного движения (употребление алкоголя и наркотических средств при управлении транспортным средством, также среди молодежи практикуется лихачество, высокая скорость, превышающая установленные пределы, умышленный проезд на красный сигнал светофора, проезд железнодорожного переезда на запрещающие сигналы, подsekание транспорта в потоке и т. д.). Следует также отметить, что необходимо усилить контроль (надзор) в области безопасности дорожного движения, который осуществляется федеральными органами исполнительной власти, уполномоченными Президентом Российской Федерации. Федеральному

дорожному агентству Минтранса РФ необходимо повысить уровень технического обеспечения безопасного движения в соответствии с нормативной базой РФ. Органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органы местного самоуправления обязаны строго и систематически осуществлять полномочия в области организации дорожного движения непосредственно либо через уполномоченные ими подведомственные организации. Только полная функционально-логистическая взаимосвязь вышеуказанных структурных подразделений обеспечит безопасность дорожного движения на высоком уровне и приведет к снижению риска возникновения ДТП;

– по второму фактору «участник дорожного движения» — повысить ответственность водителей за совершения правонарушений и уголовные преступления в области безопасности дорожного движения путем проведения и получения достоверных данных с использованием современных электронно-технических средств фиксации и замеров следов торможения, повреждения конструкций и т. д. при расследовании ДТП следственными органами МВД России; с пешеходами и пассажирами постоянно проводить профилактические беседы в области соблюдения правил дорожного движения РФ в учебных заведениях всех уровней, а также в учреждениях, организациях и на предприятиях государственной, частной или смешанной форм собственности, при этом применяя современные электронные программы по обучению и закреплению пройденного материала через уполномоченных инспекторов ГАИ МВД России, имеющих

огромный опыт и стаж работы в области безопасности дорожного движения; также рекомендуем ввести аттестацию по знаниям ПДД РФ как в учебных заведениях, так и на производстве в виде экзамена;

– по третьему фактору «организация дорожного движения» необходимо повысить ответственность инспекторов государственной инспекции безопасности дорожного движения (Госавтоинспекция) МВД России за увеличение количества ДТП на участке их обслуживания путем проведения служебного расследования; проведение дополнительной аттестации инспекторов на знание законодательной базы в области безопасности дорожного движения, а также применение паритетной рокировки среди инспекторов дежурной группы, то есть введение в дежурную группу опытного и высококвалифицированного инспектора, который бы делился своим опытом и передавал навыки молодым инспекторам; следуют также отметить создание ЦОДД (Центр организации дорожного движения Правительства Москвы), который стал хорошим примером в тщательной организации дорожного движения в московском мегаполисе за счет четкого мониторинга автомобильного движения с учетом заторов, пропускной способности определенных маршрутов с последующей корреляцией и изменением маршрутов, периода паузы и работы светофоров и т. д.;

– по четвертому фактору «дорога» Правительству РФ необходимо усилить взаимодействие (логику) Министерства транспорта РФ с РОСАВТОДОРОМ и региональными министерствами транспорта за счет функционально-логистического взаимодействия (рис. 2).



Рис. 2. Структурная блок-схема взаимодействия в работе РОСАВТОДОРА с Министерством транспорта РФ и соответствующих структурных подразделений

В свою очередь РОСАВТОДОР должен выполнять управление за счет функционально-логистического взаимодействия между федеральными казенными учреждениями (ФКУ), которые в свою очередь должны организовать при согласовании с РОСАВТОДОРОМ работу региональных министерств транспорта с дорожными структурами муниципальных образований и с подрядчиками (рис. 2). При таком функционировании автомобильные дороги различного назначения будут находиться в надлежащем состоянии и в соответствии с требованиями существующих нормативных документов Российской Федерации (рис. 2);

– по пятому фактору «транспортное средство» необходимо провести реформу по ограничению эксплуатации автомобилей возрастом старше 10 лет (задействованных при перевозке грузов и пассажиров) за счет введения обязательного технического осмотра с использованием искусственного интеллекта с целью избегания подделки результатов осмотра, так как человеческий

фактор влечет за собой сбои в обоснованном проведении технического осмотра; ввести политику значительного повышения налогообложения на содержание более двух автомобилей на одно физическое лицо (на роскошь); значительно увеличить налоги на содержание автомобилей с объёмом двигателя свыше 2,5 литров; автомобили с иностранной регистрацией, которые временно до одного года находятся на территории РФ, обязать уплачивать экологический и дорожный налоги за эксплуатацию автомобиля на территории РФ градуировано в зависимости от курортной принадлежности населенного пункта и степени загруженности дорожной системы; вышеприведенные меры по пятому фактору значительно сократят эксплуатацию технически ненадежных машин на автомобильных дорогах нашей страны и тем самым снизят риски возникновения ДТП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Иванькович, Д.В.** Факторы, детерминирующие совершение дорожно-транспортных происшествий и преступлений в России и Беларуси Д.В. Иванькович // Известия Юго-западного государственного университета. Серия: История и право. – 2025. – Т. 15, № 1. – С. 131-146. – URL: <https://doi.org/10.21869/2223-1501-2025-15-1-131-146> (дата обращения: 19.09.2025).

2. **Боровик, Д.А.** Дорожно-транспортные происшествия: причины, последствия, меры предотвращения / Д.А. Боровик // Исследования молодых ученых: материалы LXII Международной научной конференции (г. Казань, июнь 2023 г.). – Казань, 2023. – С. 33-53. – URL: <https://moluch.ru/conf/stud/archive/494/18037/> (дата обращения: 19.09.2025).

3. **Булатов, С.В.** Анализ факторов, влияющих на вероятность возникновения дорожно-транспортных происшествий / С.В. Булатов. – DOI 10.30987/2782-5957-2022-6-42-47 // Транспортное машиностроение. – 2022. – № 6 (6). – С. 42-47.

4. **Чудинов, С.А.** Проектирование транспортных развязок : учебно-методическое пособие / С.А. Чудинов, А.Ю. Шаров ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. – 80 с. – ISBN 978-5-94984-791-6. – URL: <file:///C:/Users/user/Downloads/UMP21.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).

5. **Сукач, Е.И.** Имитационное моделирование транспортных потоков городской сети / Е.И. Сукач, В.Н. Галушко, П.В. Гируц // Технологии информатизации и управления : сборник научных статей. – Минск, 2009. – С. 77-81. – URL: <https://elib.bsu.by/bitstream/123456789/95059/3/Untitled0.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).

6. **Муковнина, А.Р.** Исследование транспортных потоков / А.Р. Муковнина, М.К. Рюмшина // Юный ученый. – 2020. – № 2.1 (32.1). – С. 47-49. – URL:

<https://moluch.ru/young/archive/32/1968/> (дата обращения: 19.09.2025).

7. **Васильченко, А.С.** Индивидуально-психологические и патопсихологические факторы участия в дорожно-транспортных происшествиях у лиц с психическими расстройствами и расстройствами поведения / А.С. Васильченко, С.В. Шпорт, А.С. Дубинский // Российский психиатрический журнал. – 2020. – № 2. – С. 22-31. – URL: https://www.researchgate.net/publication/361763710_Individual_psychological_and_pathopsychological_factors_of_involvement_in_road_traffic_accidents_of_persons_with_mental_and_behavioral_disorders#read (дата обращения: 19.09.2025).

8. Определение профессионально важных качеств водителей, необходимых для эффективного управления пассажирским автотранспортом / Ю.Я. Комаров, Р.А. Кудрин, Е.В., Лифанова, М.Н. Дятлов // Наука и техника транспорта. – 2016. – № 2. – С. 14-18. – URL: <https://www.volgmed.ru/uploads/journals/articles/1494400674-vestnik-2017-1-2885.pdf> (дата обращения: 19.09.2025).

9. **Евсеева, А.А.** Анализ причин возникновения дорожно-транспортных происшествий с участием грузовых автомобилей в России / А.А. Евсеева, Е.И. Кобиашвили, В.Н. Басков // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2015. – Т. 13. – С. 3011-3015. – URL: <http://e-koncept.ru/2015/85603.htm> (дата обращения: 19.09.2025).

10. **Куракина, Е.В.** Статистический анализ и аудит экспертной практики обеспечения безопасности дорожного движения / Е.В. Куракина, С.А. Евтюков, С.С. Евтюков // Сборник материалов межведомственной научно-практической конференции «Общественная безопасность в сфере дорожного движения: профессиональная подготовка и организационно-правовые инструменты», г. Санкт-Петербург, 26-27 февраля 2020 г. – Санкт-Петербург, 2020. – С.103-110.

11. Российская Федерация. Законы. О безопасности дорожного движения : Федеральный закон № 196-ФЗ от 10 декабря

1995 г. (редакция от 07.07.2025 – действует с 07.07.2025) : [принят Государственной Думой 15.11.1995] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501027> (дата обращения: 20.09.2025).

12. Российская Федерация. Законы. Об обязательном страховании гражданской ответственности владельцев транспортных средств : Федеральный закон № 40-ФЗ от 25.04.2002 (редакция от 31.07.2025 – действует с 31.08.2025) : [принят Государственной Думой 5.04.2002 : одобрен Советом Федерации 10.04.2002] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501325> (дата обращения: 20.09.2025).

13. Российская Федерация. Законы. О транспортной безопасности : Федеральный закон № 16-ФЗ от 09.02.2007 (редакция от 21.04.2025 – действует с 02.05.2025) : [принят Государственной Думой 19.01.2007 : одобрен Советом Федерации 02.02.2007] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=493720> (дата обращения: 20.09.2025).

14. Российская Федерация. Законы. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях : Федеральный закон № 195-ФЗ от 30.12.2001 (редакция от 07.04.2025 – действует с 18.04.2025) : [принят Государственной Думой 20.12.2001 : одобрен Советом Федерации 26.12.2001] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=492788> (дата обращения: 20.09.2025).

15. Российская Федерация. Законы. Уголовный кодекс Российской Федерации : Федеральный закон № 63-ФЗ от 13.06.1996 (редакция от 21.04.2025) : [принят Государственной Думой 24.05.1996 : одобрен Советом Федерации 05.06.1996] // Контур Норматив : официальный интернет

портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=493622> (дата обращения: 20.09.2025).

16. Российская Федерация. Законы. Гражданский кодекс Российской Федерации. Часть первая : Федеральный закон № 51-ФЗ от 30.11.1994 (редакция от 08.08.2024 – действует с 08.08.2024) : [принят Государственной Думой 21.10.1994] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=475859> (дата обращения: 20.09.2025).

17. Российская Федерация. Законы. Об организации дорожного движения в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации : Федеральный закон № 443-ФЗ от 29.12.2017 (редакция от 08.08.2024 – действует с 01.03.2025) : [принят Государственной Думой 20.12.2017 : одобрен Советом Федерации 26.12.2017] // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=489872> (дата обращения: 20.09.2025).

18. Российская Федерация. О правилах дорожного движения : Постановление Правительства РФ от 23.10.1993 № 1090 (редакция от 16.07.2025 – действует с 01.09.2025) // Контур Норматив : официальный интернет портал СКБ. – URL:<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=501597> (дата обращения: 20.09.2025).

19. Число легковых автомобилей в России выросло почти до 53 миллионов // РИА Новости : официальный интернет портал. – URL:<https://ria.ru/20250827/rossija-2037782734.html> (дата обращения: 20.09.2025).

20. Две трети машин в России в 2025 году оказались старше 10 лет // ВЕСТИ.RU : официальный интернет портал. – URL:<https://www.vesti.ru/article/4694248> (дата обращения: 20.09.2025).

Сведения об авторах:

Бойко Елена Анатольевна

кандидат педагогических наук,
заведующий кафедрой управления
инновациями в промышленности
Северодонецкий технологический институт
Луганского государственного университета
имени Владимира Даля.
293400, Россия, ЛНР, г. Северодонецк, пр.
Советский 59а
SPIN-код: 8319-1623, AuthorID: 902380
E-mail: doc24elena@bk.ru

Бойко Николай Зельманович

кандидат технических наук, директор
Северодонецкого технологического
института Луганского государственного
университета имени Владимира Даля.
293400, Россия, ЛНР, г. Северодонецк, пр.
Советский 59а
E-mail: boartfzl@mail.ru

Болоташвили Зураб Ушангович

доцент, кандидат технических наук, доцент
кафедры управления инновациями в
промышленности, Северодонецкий
технологический институт Луганского
государственного университета имени
Владимира Даля, г. Северодонецк.
293400, Россия, ЛНР, г. Северодонецк, пр.
Советский 59а
SPIN-код: 5335-9771, AuthorID: 1309408
E-mail: zurab.bolotashvili.72@bk.ru

Information about the authors:

Boyko Elena Anatolyevna

Candidate of Pedagogical Sciences, Head of
the Department of Innovation Management in
Industry, Severodonetsk Institute of
Technology of the Lugansk State University
named after Vladimir Dahl.
293400, Russia, LNR, Severodonetsk, 59a
Sovetsky Avenue
SPIN-код: 8319-1623, AuthorID: 902380
E-mail: doc24elena@bk.ru

Boyko Nikolay Zelmanovich

Candidate of Technical Sciences, Director of
the Severodonetsk Institute of Technology of
the Lugansk State University named after
Vladimir Dahl.
293400, Russia, LNR, Severodonetsk, 59a
Sovetsky Avenue
E-mail: boartfzl@mail.ru

BolotashviliZurabUshangovich

Associate Professor, Candidate of Technical
Sciences, Associate Professor of the
Department of Innovation Management in
Industry, Severodonetsk Institute of
Technology of the Lugansk State University
named after Vladimir Dahl.
293400, Russia, LNR, Severodonetsk, 59a
Sovetsky Avenue
SPIN-код: 5335-9771, AuthorID: 1309408
E-mail: zurab.bolotashvili.72@bk.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_54
УДК 669.162

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

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АГЛОМЕРАТА НА
УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД КОКСА И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ**

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: Приведены показатели, характеризующие качество агломерата и требования, которые к ним предъявляют в современных условиях производства чугуна. Показаны результаты расчетно-аналитической оценки влияния показателей качества агломерата на удельный расход кокса и производительность доменной печи. Представлены количественные значения коэффициентов влияния, позволяющие рассчитать технический эффект от изменения качества агломерата.

Ключевые слова: агломерат, показатели качества, расход кокса, производительность, доменная печь

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

**INFLUENCE OF CHANGES IN THE SINTER QUALITY INDICATORS ON THE
SPECIFIC COKE CONSUMPTION AND BLAST FURNACE PRODUCTIVITY**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The indicators characterizing the sinter quality and the requirements for them in modern cast iron production conditions are presented. The results of calculating and analyzing the influence of sinter quality indicators on the specific coke consumption and blast furnace productivity are shown. The quantitative values of the influence coefficients are presented to calculate the technical effect of changes in the sinter quality.

Keywords: sinter, quality indicators, coke consumption, productivity, blast furnace.

Агломерат является одним из основных видов железорудного сырья, применяемого для производства чугуна. Доля агломерата в железорудной части доменной шихты на большинстве доменных печей мира составляет 60–80 %.

Как любое сырье для доменной плавки, агломерат обладает рядом характеристик, которые оказывают влияние на эффективность и экономичность работы доменной печи, что в основном

выражается в удельном расходе кокса и производительности доменной печи.

К основным показателям, характеризующим качество агломерата, относят:

- химический состав [1, 2] — содержание Fe и FeO, состав пустой породы, содержание вредных примесей;
- стабильность химического состава [1, 3] — величина среднеквадратичного отклонения содержания железа и

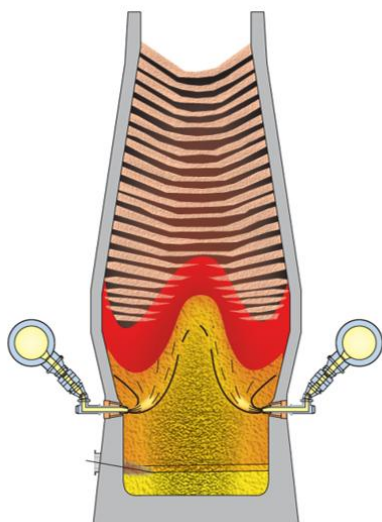
основности, величина усадки содержания железа и основности;

- гранулометрический состав [1, 2] — средний размер куска, содержание фракции «-5мм»;

- металлургические свойства [1, 4] — холодная прочность, восстановимость, прочность при восстановлении, температура начала и конца расплавления;

- комплексные критерии [5, 6] — интегральные показатели, характеризующие химический состав и металлургические свойства с учетом взаимовлияния отдельных параметров качества агломерата.

На рис. 1 представлено, какие показатели качества агломерата в каких зонах доменной печи характеризуют его поведение.



Химический анализ,
Гранулометрический состав,
Барабанная прочность и
истираемость

Низкотемпературное разрушение,
Индекс восстановления,
Восстановимость

Температура начала и конца
расплавления, каплеобразование

Рис. 1. Показатели качества агломерата, отнесенные к зонам доменной печи

Как указывают авторы работы [7], агломерат должен быть в кусках определенной крупности, иметь высокую прочность в холодном и в горячем состоянии, высокую восстановимость, высокую температуру размягчаемости и

содержать минимальное количество фракции «-5мм». Основные требования к качеству агломерата в современных условиях доменной плавки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Требования, предъявляемые к качеству агломерата

Показатель	Значение
Содержание железа, %	Более 59,0
Коэффициент прочности (+5 мм), %	Не менее 80,0
Коэффициент истираемости (0-0,5 мм), %	Не более 4,0
Содержание фракции «-5мм», %	Не более 4,0

Крупность отгружаемой продукции, %	Не менее 85% фракции 8-35 мм
Фактическая степень восстановления, %	Не менее 90,0
Восстановимость при степени восстановления до 40 %, %/мин	Не менее 0,5
Температура начала размягчения, °С	Не ниже 1050
Температура конца размягчения, °С	Не ниже 1150
Температурный интервал размягчения, °С	Не более 100
Допустимые колебания содержания железа, ± %	0,25
Допустимые колебания закиси железа, ± %	1,00
Допустимые колебания основности, ±, ед	0,05

В рамках поставленной задачи проведена обзорно-аналитическая оценка количественного влияния изменения показателей качества агломерата на удельный расход кокса.

Влияние содержания железа в агломерате. В соответствии с работой [3], повышение содержания железа в шихте способствует снижению расхода кокса на 1 % и увеличению производительности доменной печи на 1,7 %. Относительно влияния конкретно агломерата, влияние

роста содержания железа в нем оказывает такое же влияние, но с учетом его доли в шихте.

Влияние содержания FeO в агломерате. Графическая интерпретация данных (рис. 2), представленных в работе [3] показывает, что содержание FeO в агломерате оказывает влияние на расход кокса и составляет +0,415 кг/т чугуна на каждый 1 % увеличения содержания FeO в агломерате.

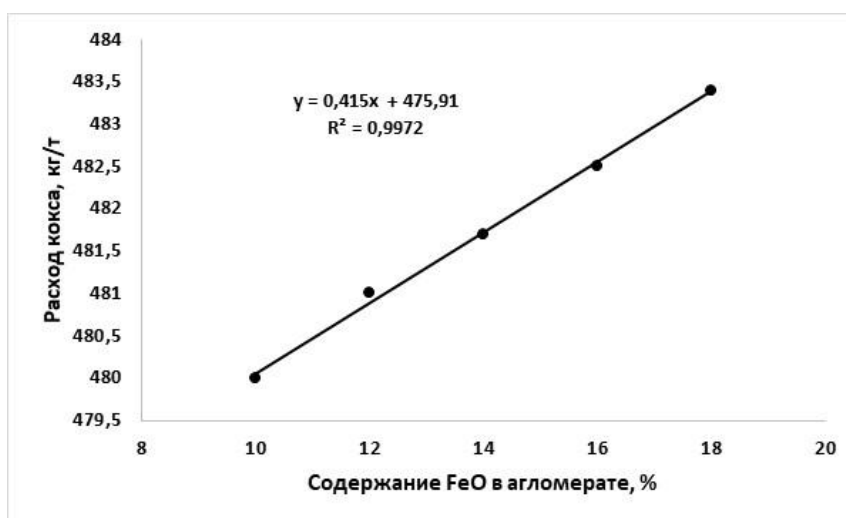


Рис. 2. Влияние содержание FeO в агломерате на расход кокса

Опыт работы доменной печи № 3 завода Kimitsu (Япония) показал, что увеличение содержания FeO в агломерате способствует росту расхода топлива на 4,4 кг/т чугуна [9]. В среднем по доменным печам Японии данное влияние выражается в $-(3\div 4)$ кг/т чугуна на каждый 1 % снижения содержания FeO в агломерате [10]. Сравнение коэффициентов влияния по данным работы [3] с данными, представленными в работах [9, 10] показывает, что в последних работах он на порядок выше. Возможной причиной данного расхождения являются разные условия работы (доменные печи Японии в момент получения значений работали с минимальным расходом дополнительно вдуваемого топлива), тогда как данные, представленные в работе [3], относятся к

условиям работы доменных печей ММК, которые работали с вдуванием природного газа, водород которого способствовал восстановлению FeO косвенным путем и снижал его влияние на расход кокса, что в большей степени соответствует современным условиям работы доменных печей.

Влияние среднеквадратичного отклонения содержания железа в агломерате ($СКОFe_{(ar)}$). Влияние данного показателя качества на параметры доменной плавки (производительность и расход кокса) указано в работе [11]. В соответствии с данной работой, влияние зависит от уровня содержания железа в агломерате и от величины изменения $СКОFe_{(ar)}$. Численные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние колебания железа в агломерате на показатели доменной плавки

СКОFe _(ar) , %		Изменение расхода кокса, %		Изменение производительности, %	
от	до	Абс.	Отн. (на 0,1 %)	Абс.	Отн. (на 0,1 %)
Содержание железа в агломерате 55%					
2,0	1,5	-1,1	-0,22	+1,1	+0,22
1,5	1,0	-1,0	-0,20	+1,0	+0,20
1,0	0,5	-0,9	-0,18	+0,9	+0,18
0,5	0,137	-0,3	-0,08	+0,3	+0,08
Содержание железа в агломерате 60%					
2,0	1,5	-1,0	-0,20	+1,0	+0,20
1,5	1,0	-0,9	-0,18	+0,9	+0,18
1,0	0,5	-0,8	-0,16	+0,8	+0,16
0,5	0,15	-0,3	-0,09	+0,3	+0,09

Для современных агломерационных фабрик характерны значения $СКОFe_{(ar)}$ на уровне 0,5–1,0 % и менее, при уровне железа от 55 до 60 %. В связи с этим можно принять, что снижение $СКОFe_{(ar)}$ на 0,1 % будет способствовать снижению расхода кокса и увеличению производительности на 0,17 %.

Влияние укладки содержания железа в агломерате и его основности. На основании информации, представленной в работе [3] построены зависимости величины перерасхода кокса и снижения производительности от уровня укладки агломерата по основности (рис. 3) и по железу (рис. 4).

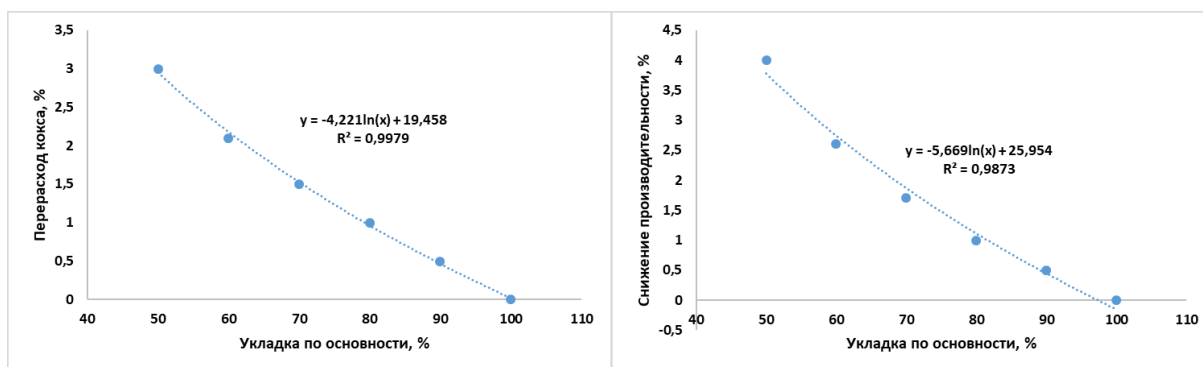


Рис. 3. Влияние укладки по основности на величину перерасхода кокса и снижение производительности доменной печи

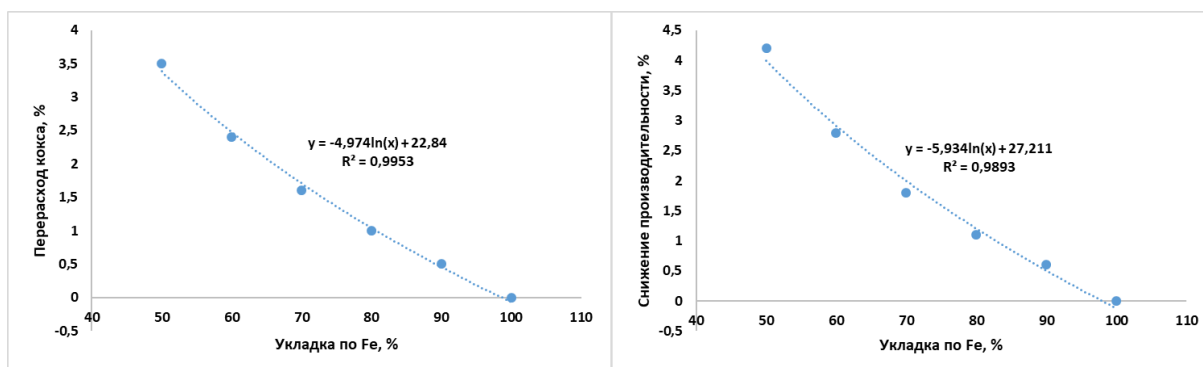


Рис. 4. Влияние укладки по железу на величину перерасхода кокса и снижение производительности доменной печи

Из полученных результатов можно отметить, что с ростом величины укладки ее влияние на расход кокса и производительность доменной печи снижается. В среднем можно принять, что увеличение укладки по основности на 1 % будет способствовать снижению расхода кокса на 0,07 % и росту производительности на 0,09 %. Относительно влияния укладки по железу можно принять, что в среднем рост укладки на 1 % будет способствовать снижению расхода кокса и росту производительности на 0,08 % и 0,09 % соответственно.

Влияние содержания фракции «–5 мм» в агломерате. Содержание мелких фракций в агломерате оказывает влияние на удельный расход кокса и производительность, а также на отсев агломерата. На удельный расход кокса и производительность оказывает влияние мелких фракций в скиповом агломерате, а на отсев агломерата влияет содержание мелких фракций в бункерном агломерате.

В соответствии с работой [3] увеличение содержания фракции «–5 мм» в скиповом агломерате способствует росту удельного расхода кокса на 1 % и снижению производительности на 1 %.

Влияние холодной прочности. Влияние холодной и горячей прочности на расход кокса и производительность доменной печи указано в работе [12]. В соответствии с данной работой, увеличение холодной прочности агломерата по показателю X_{+5} на 1 % сопровождается снижением расхода кокса на 0,31 %. Данное влияние обусловлено снижением содержания мелких фракций (в первую очередь фракции «–5 мм») в агломерате. В связи с вышеизложенным можно отметить, что данный показатель является аналогом показателя «содержание фракции 0–5 мм в агломерате» и при учете данного показателя в пофакторном анализе влияние содержания фракции «–5 мм» в агломерате следует не учитывать.

Влияние прочности при восстановлении. Одним из показателей, по которому оценивают прочность при

восстановлении является RDI (Reduction Degradation Index). Основными показателями являются: $RDI_{+6,3}$; $RDI_{+3,15}$; $RDI_{0,5}$. Автор работы [12] указывает, что повышение показателя $RDI_{+3,15}$ на 1 % способствует снижению расхода кокса на 2 кг/т чугуна и увеличению производительности на 0,6 %. На многих предприятиях прочность при восстановлении оценивают по показателю $RDI_{+6,3}$. В связи с этим оценено влияние данного показателя, ориентируясь на влияние показателя $RDI_{+3,15}$. Статистический анализ связи указанных выше показателей показал, что рост показателя $RDI_{+6,3}$ на 1 % сопровождается увеличением показателя $RDI_{+3,15}$ на 0,39 % (рис. 5).

Исходя из вышеизложенного получаем, что увеличение показателя $RDI_{+6,3}$ на 1 % будет способствовать снижению расхода

кокса на $0,39 \cdot 2 = 0,78$ кг/т чугуна и росту производительности на $0,39 \cdot 0,6 = 0,23$ %.

Влияние восстановимости.

Восстановимость — показатель, характеризующий способность железорудных материалов отдавать кислород оксидов железа реагенту-восстановителю за определенное время (при проведении оценки обычно время составляет 180 мин). Данный показатель представляет собой отношение количества отнятого при восстановлении кислорода ко всему кислороду, связанному с оксидами.

Таким образом, чем больше данный показатель, тем более легко восстановимым является железорудный материал (агломерат). В соответствии с работой [13] увеличение восстановимости на 1 % способствует снижению расхода кокса на 4 кг/т чугуна.

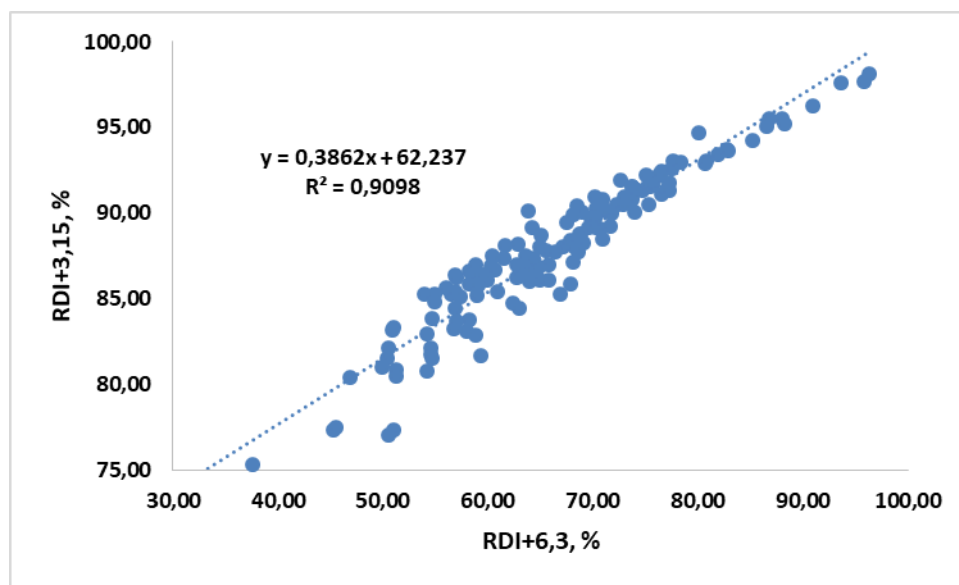


Рис. 5. Связь между показателями $RDI_{+6,3}$ и $RDI_{+3,15}$

Влияние температуры начала плавления и температурного интервала плавления. Данные параметры в первую очередь оказывают влияние на положение по высоте и толщину зоны когезии, которые, в свою очередь, влияют на степень использования СО и тепловые потери и, как следствие, расход кокса. Наиболее детально влияние параметров зоны когезии на расход кокса описано в работе [14]. Анализируя данные, представленные в данной работе, можно

отметить, что увеличение температуры начала плавления на 10°C будет способствовать снижению расхода кокса на 0,91 кг/т чугуна. Что касается температурного интервала плавления, то его снижение на 10°C будет способствовать снижению расхода кокса на 0,64 кг/т чугуна.

Ниже представлена сводная информация о влиянии изменения качества агломерата на показатели доменной плавки (табл. 3).

Таблица 3

Влияние показателей качества агломерата на показатели доменной плавки

Показатель	Изменение	
	расход кокса, кг/т чугуна (%)	производительность, %
Увеличение содержания Fe на 1 %	(-1)	+1,5
Снижение содержания FeO на 1 %	-0,415	-
Снижение $CKOFe_{(ar)}$ на 0,1 %	(-0,17)	+0,17
Увеличение укладки по основности на 1 %	(-0,07)	+0,09
Увеличение укладки по железу на 1 %	(-0,08)	+0,09
Снижение содержания фракции «-5 мм» в скиповом агломерате на 1 %	(-1)	+1,0
Увеличение холодной прочности (X+5) на 1 %	(-0,31)	-
Увеличение прочности при восстановлении на 1 %: по показателю $RDI_{+3,15}$ по показателю $RDI_{+6,3}$	-2 -0,78	+0,6 +0,23
Увеличение восстановимости на 1 %	-4,0	-
Увеличение температуры начала плавления на 10 °С	-0,91	-
Снижение температурного интервала плавления на 10 °С	-0,64	-

Примечание:

- Указанные в таблице коэффициенты влияния необходимо умножить на долю агломерата в шихте;
- При оценке влияния холодной прочности агломерата оценку по изменению фракции «-5 мм» в скиповом агломерате не производят и наоборот.

ВЫВОДЫ

1. Агломерат является одним из основных компонентов железорудной части шихты, поэтому его качество оказывает существенное влияние на показатели доменной плавки.

2. Проведена расчетно-аналитическая оценка, в ходе которой определены коэффициенты влияния изменения качественных характеристик агломерата на удельный расход кокса и производительность доменной печи.

3. Полученные коэффициенты позволяют рассчитать изменение технико-экономических показателей доменной плавки как при реализации мероприятий, направленных на повышение качества агломерата, так и при изменении характеристик агломерата при реализации текущей технологии его спекания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Современный доменный процесс. Введение / М. Геердес, Р. Ченю, И. Курунов [и др.]. – 3-е изд. – Москва : Metallurgizdat, 2016. – 280 с. – ISBN 978-5-902194-84-2.

2. Доменное производство : справочное издание. В 2 т. Т. 1 : Подготовка руд и доменный процесс / под ред. Вегмана Е.Ф. – Москва : Metallurgiya, 1989. – 496 с.

3. **Волков, Ю.П.** Технолог-доменщик / Ю.П. Волков, Л.Я. Шпарбер, А.К. Гусаров. – Москва : Metallurgiya, 1986. – 263 с.

4. **Коршиков, Г.В.** Энциклопедический словарь-справочник по металлургии / Г.В. Коршиков. – Липецк : Изд-во Госкомпечати РФ г. Липецк, 2000. – 786 с.

5. Интегральные показатели химического состава окискованного железорудного сырья / А.Р. Жак, Н.В. Ратникова, Ю.С. Юсфин, В.М. Федченко // Сталь. – 1998. – № 11. – С. 7-12.

6. Интегральные показатели металлургических свойств окискованного железорудного сырья / А.Р. Жак, Н.В. Ратникова, Ю.С. Юсфин, В.М. Федченко // Сталь. – 1998. – № 3. – С. 10-13.

7. **Макарова, И.В.** Производство чугуна : конспект лекций по дисциплине «Основы металлургического производства» / И.В. Макарова, М.В. Потапова, М.Г. Потапов. – Магнитогорск : Изд-во Магнитогорского государственного технического

университета им. Г.И. Носова, 2016. – 130 с. – ISBN 978-5-9967-0839-0.

8. Основные направления совершенствования технологии и оборудования в производстве агломерата / А.Д. Учитель, В.П. Лялюк, Ф.М. Журавлев [и др.] // Черная металлургия: Бюллетень института «Черметинформация». – 2013. – № 8. – С. 8-17.

9. **Yuji, T.** Работа доменной печи с низким расходом топлива / T. Yuji, T. Mastake, S. Masayasu // Реферативный журнал. – 1981. – № 4. – С. 44.

10. **Yasushi, I.** Современные достижения в доменном производстве и будущие тенденции потребления железной руды / I. Yasushi, Y. Hiromitsu // Реферативный журнал. – 1981. – № 6. – С. 36.

11. **Товаровский, И.Г.** Аналитическая оценка влияния колебаний железа в шихте на показатели доменной плавки и качество чугуна / И.Г. Товаровский, Я.М. Ободан, Е.П. Миршавка // Доменное производство : тематический сборник. – Москва, 1975. – С. 122-127.

12. **Фролов, Ю.А.** Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология / Ю.А. Фролов. – Москва : Metallurgizdat, 2016. – 672 с. – ISBN 978-5-902194-89-7.

13. **Вегман, Е.Ф.** Краткий справочник доменщика / Е.Ф. Вегман. – Москва : Metallurgiya, 1981. – 240 с.

14. Методика количественной оценки изменения параметров зоны когезии на удельный расход кокса в доменной печи / В.Н. Титов, Т.В. Кравченко, И.В. Куприянова, Е.О. Семенычева // Вестник ЛГТУ. – 2020. – № 1 (42). – С. 82-85.

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

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

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

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

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

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_2026_1_62
УДК 669.184

А.А. ШИПЕЛЬНИКОВ, А.Н. РОГотовский, С.А. КАШКАРОВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫХ ЧУГУНОВ ДЛЯ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

Липецкий государственный технический университет, Липецк

Аннотация: В статье рассматривается проблематика совершенствования технологии производства высоколегированного чугуна для литых заготовок погружных насосов электроцентробежных насосов в условиях действующего производства ООО «Лебедянский машиностроительный завод». Особое внимание уделяется описанию технологического процесса производства литых заготовок и материалов, используемых в выплавке высоколегированного чугуна. В специальной исследовательской части приводятся результаты проведенных экспериментальных плавок, проводится анализ полученных результатов с формированием конкретных предложений по улучшению технологии производства.

Ключевые слова: технология, выплавка, высоколегированный чугун «нирезист», литые заготовки, индукционная печь, качество.

IMPROVING THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF HIGH-ALLOY CAST IRONS FOR SUBMERSIBLE PULSER CASTINGS

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: This article examines the challenges of improving the production technology of high-alloy cast iron for the castings of submersible electric centrifugal pulsers at the production facility of Lebedyan Machine-Building Plant LLC. Particular attention is paid to the description of the production process for castings and materials used in high-alloy cast iron making. A special research section presents the results of experimental smelting, analyzes the findings, and formulates specific proposals for improving the production technology.

Keywords: technology, smelting, high-alloy cast iron “Ni-resist”, castings, induction furnace, quality.

ВВЕДЕНИЕ

В России и в мире основная часть нефти добывается с помощью установок электроцентробежных насосов (ЭЦН), одним из компонентов которой является погружной насос. Эффективность работы насоса напрямую связана с материалом, из которого изготовлены рабочие ступени насоса (рис. 1). Одно из основных требований, предъявляемых к ступеням, – они должны не менее 36 месяцев стабильно работать в осложненных условиях скважины и проявлять высокую износостойкость и коррозионностойкость.

На сегодняшний день самым распространенным материалом для производства рабочих ступеней ЭЦН является высоколегированный чугун. Этот особый вид чугуна с высоким, как правило, содержанием никеля и меди получил название «нирезист». Макроструктура «нирезиста» характеризуется высокой устойчивостью

при температурах более 700 °С. Чугун обладает аустенитной структурой. Главное преимущество чугуна аустенитного класса заключается в немагнитности структуры – макроструктура обладает низкой магнитной проницаемостью, величина которой менее $8 \cdot 10^{-6}$ Гн/м, что обеспечивает пренебрежительно малые потери на гистерезис магнитного поля. Базовым условием получения аустенитного соединения выступает высокий уровень легирования никелем и марганцем чугуна с пластинчатой или шаровидной графитной структурой. «Нирезист» отличается рядом качеств, находящихся практическое промышленное применение. Это в первую очередь жаропрочность, а также ростоустойчивость и высокие антикоррозийные свойства [1].



Рис. 1. Литые заготовки электроцентробежных насосов (ЭЦН)
слева – направляющий аппарат, справа – рабочее колесо

Сравнительная устойчивость «нирезиста» в высокотемпературных средах превышает аналогичное качество серой стали на порядок. Процесс окисления происходит только при температуре более 1000 °С. Более низкие величины не сказываются на механических свойствах сплава. Так выдержка чугуна нирезиста при 750 °С на протяжении 10 суток приводит к потере только 0,009 кг/1кг отливки, тогда как этот показатель для обычного серого чугуна составляет около 0,1 кг/1 кг.

Аналогичным поведением обладает другая характеристика «нирезиста» — ростоустойчивость. В условиях перегретого пара до температуры 480 °С установлено, что рост аустенитной структуры в семь раз меньше, чем у серого чугуна. Устойчивость к коррозии «нирезиста» дополняется высокой химической стойкостью аустенитной структуры. Это открывает перспективы его применения в различных агрессивных средах. В частности, химическая стойкость «нирезиста» в кислотах (серной, муравьиной, уксусной), а также в щелочах и морской воде значительно превышает стойкость серого чугуна.

На сегодня насчитывается более 30 марок высоколегированных никелем чугунов, отличающихся концентрацией цветного металла и прочих добавок (меди, хрома, марганца), а также типом включений графита. Это обусловлено тем,

что химический состав сильно воздействует на литейные характеристики чугуна, такие как жидкотекучесть и объемная усадка [1]. Оба параметра достаточно слабо выражены у «нирезистов», их оптимизация под гравитационное литье в песчано-глинистые формы (ПГФ) или стопки-формы из химически твердеющих смесей (ХТС) достигается модификацией содержания легирующих добавок.

В статье мы подробно рассмотрели особенности технологии выплавки высоколегированного чугуна и предложили возможные варианты ее совершенствования, которые возможно реализовать в условиях действующего производства чугунолитейного цеха ООО «Лебедянский машиностроительный завод».

ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ЧУГУНОВ И ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ЭЦН

Сегодня ООО «Лебедянский машиностроительный завод» изготавливает рабочие ступени насосов ЭЦН из высоколегированного аустенитного модифицированного чугуна «Ni-Resist Type 1 ASTM A 436» ТУ 4111-015-00217930-2011. В соответствии с данным условием детали, изготовленные из высоколегированного чугуна, должны обеспечивать стабильную работу насоса в следующих условиях:

1) среда – пластовая жидкость (смесь нефти, попутной воды и нефтяного газа, смесь промышленных йод-бромных вод и попутного газа);

2) содержание воды – до 100 %;

3) водородный показатель попутной воды – рН = 5,0-8,5;

4) максимальная массовая концентрация твердых частиц в откачиваемой жидкости – 0,1 % (1 г/л);

5) микротвёрдость частиц – не менее 7 баллов по Моосу;

6) максимальная массовая концентрация сероводорода – 0,6 % (6 г/л);

7) максимальное содержание свободного газа на приеме насоса – 55 % по объёму;

8) температура перекачиваемой жидкости – до 150°C (при содержании сероводорода не более 1,25 г/л – до 250 °С).

Как мы видим, данные условия достаточно специфичные, и в них обычный серый чугун длительное время работать не способен. Далее представлен химический состав чугуна «Ni-Resist Type 1 ASTM A 436», способного работать в данных условиях (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав чугуна Ni-Resist Type 1 ASTM A 436

C	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
≤ 3,0	0,5-1,5	1,5-2,5	13,5-17,5	5,5-7,5	≤ 0,12	≤ 0,25

Макроструктура чугуна в местах механической обработки не должна иметь «отбела» [2, 3]. Для устранения кромочного «отбела», нормализации твердости или стабилизации размеров отливки могут быть термообработаны при условии обеспечения соответствия прочим техническим требованиям. Чугун должен быть ростоустойчив при отрицательных температурах, т. е. должен быть устойчив к изменению объёма после охлаждения до температуры –60 °С. Структура металлической основы должна быть аустенитной. В микроструктуре чугуна количество карбидов не должно превышать Ц20 по шкале цементита по ГОСТ 3443, форма графитовых включений ПГф1 (при длине включений не более 180 мкм), ПГф2 или ПГф4. Механические свойства «нирезиста» в отливках ЭЦН:

1) твердость по Бринеллю, передаваемых для механической обработки, должна составлять 131–183 НВ;

2) предел прочности на растяжение – не менее 172 МПа (17,5 кгс/мм²) [2].

Индукционная плавильная установка предназначена для выплавки чугуна с последующей его заливкой по формам. На

ООО «Лебедянский машиностроительный завод» для выплавки чугуна используются индукционные плавильные установки (ИП) фирмы «Inductotherm» (рис. 2). В чугунолитейном цехе (ЧЛЦ) завода установлены две плавильные установки по два тигля на каждой. Емкость тигля составляет 1500 кг. Мощность одной плавильной установки составляет 1 МВт, по 500 кВт на каждый тигель.

Важной составляющей технологии выплавки «нирезиста» в ИП является качественное изготовление футеровки тигля. Футеровка печи осуществляется в соответствии с отдельной технологической инструкцией «Футеровка индукционной печи»:

- подготовка футеровочных материалов;
- подготовка инструмента, оборудования и тары;
- обмазка и подготовка индуктора;
- футеровка огнеупорным кирпичом пода печи;
- набивка тигля;
- подготовка сливного носка;
- естественная сушка футеровки;

- спекание футеровки по шаблону и специальному режиму плавки.

Тщательная подготовка тигля печи к плавке является залогом получения

высококачественного сплава при достижении приемлемого уровня стойкости тигля, который обычно составляет 60–80 плавков.



Рис. 2. Индукционная плавильная установка «Dual-Trak»

В качестве шихтовых материалов для выплавки чугунов в ИП используют чушковые чугуны, ферросплавы, различного рода лигатуры, цветные и черные металлы, стальной лом, а также металлоотходы – медную, чугунную и стальную стружку, стальные пакеты, возврат собственного производства: литники и элементы литниково-питающей системы (ЛПС), забракованные отливки и технологические сливы с ковшей. При выплавке чугуна в электропечах используют карбюризаторы (вещества, содержащие в большом количестве углерод) для получения заданного содержания углерода в готовом чугуне.

Особому контролю качества подвергаются такие шихтовые материалы, как модификаторы формы графита. Модификаторы – вещества, вводимые в расплав для изменения конечной микроструктуры и свойств сплава после кристаллизации. Применительно к чугунам в литейном производстве, модифицирование проводится как финишная операция обработки расплава для целей получения определенной формы графита, устранение зон связанного в карбиды углерода («отбел») или, наоборот, для сквозного отбеливания структуры. Основным модификатором чугуна

«нирезист» для устранения эффекта «отбеливания» (образование зон с карбидами углерода) структуры является ферросилиций ФС75 и иные ферросплавы на его основе. Для модифицирования ферросилиций в размолотом виде с фракций от 0,5 до 6,0 мм вводят в разливочный или раздаточный ковш под струю чугуна в момент перелива. Температура модифицирования обычно составляет от 1350 до 1450 °С, расход ферросилиция от 0,2 до 0,4 % от массы обрабатываемого чугуна в ковше. Модифицирующий эффект литейного ферросилиция не превышает 10 минут. Ферросилиций обычно применяют для чугунов с низким углеродным эквивалентом (менее 4 %) при заливке тонкостенных отливок. На практике также используют модификаторы на основе редкоземельных металлов (РЗМ). Такие элементы как лантан, церий, неодим, празеодим и др., объединяются под названием лантаноидов. Также к ним относят иттрий и скандий, которые близки по химическим свойствам, но имеют большое различие по физическим свойствам (температура плавления, плотность и т. п.). Для ковшевых присадок в чугун применяют смешанный сплав, так называемый «мишметалл», который

содержит 40–45 % Се и 45–50 % всех остальных редкоземельных элементов. На практике установлено, что при малых расходах модификатора (менее 0,2 %) лучшие результаты показывает «мишметалл» марки ФС30РЗМ30.

Для производства литых заготовок ЭЦН стержни и формы производят по технологии ХТС «Cold-Box-Amin»-процесса. Для этого применяется сухой кварцевый песок, предпочтительно марки ВС-50-1, и комплексное связующее, состоящее из двух компонентов – фенольная смола и раствор изоцианата или полиизоцианата. В качестве газа-катализатора применяется диметиламин или триэтиламин. Стержневая и формовочная смеси содержат, % по массе:

100 кварцевого песка (средней крупностью от 0,14 до 0,18 мм), от 0,6 до 0,8 фенольной смолы и от 0,6 до 0,8 полиизоцианата.

Живучесть приготовленной смеси не менее 3 часов. Используя «Cold-Box-Amin»-процесс, можно получать стержни и формы различной конфигурации, причем для чугуна 4–5 класса сложности (рис. 3–4). Главные преимущества данного процесса над остальными состоят в минимальном количестве используемых веществ и малой длительности производства стержней и форм, а также в возможности организации полной автоматизации всего процесса.



Рис. 3. Основные стержни, полученные по технологии «Cold-Box-Amin»



Рис. 4. Собранные в стопы формы под заливку на конвейере, полученные по технологии «Cold-Box-Amin»

Выплавку чугуна в ИП ведут форсировано до достижения расплавом температуры выдержки в режиме

миксирования печи в диапазоне 1450–1480 °С. После выдержки металла берут пробу на определение химического состава

и факультативно заливают клиновую пробу для определения склонности чугуна к отбелу структуры. После получения данных из экспресс-лаборатории производят корректировку химического состава чугуна. После чего форсированно подогревают металл до температуры выпуска из печи. Расплав выпускают в раздаточный ковш компактной струей, при необходимости вводят под струю металла модификатор-инокулянт. После этого раздаточный конический ковш поступает на разливочную площадку поточного конвейера, где происходит перелив чугуна в разливочные чайниковые ковши и последовательное заполнение стоп-форм. В момент заполнения каждого разливочного ковша под струю металла вводится навеска модификатора на основе ФС75 в количестве 0,3–0,4 % от массы разливаемого чугуна.

После охлаждения залитых стоп-форм в галерее они поступают на выбивку формовочно-стержневой смеси, откуда отправляются на галтовку и дробеметную обработку поверхности. После заточки питателей производится визуальный контроль качества: забракованные литые заготовки отправляются в изолятор брака и после комиссионного решения возвращаются либо в переплав в качестве возвратных материалов, либо по карте разрешения поступают далее в механосборочные подразделения завода, так же как и годные отливки с пометкой партии и времени заливки. На этом цикл производства литых заготовок ЭЦН считается завершенным.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для выявления влияния режимов модифицирования [3] на качество структуры чугуна были проведены серии плавов с различными температурно-скоростными режимами обработки расплава при 100 % возвратных материалов в металлозавалке в виде элементов ЛПС. Результат экспериментальных работ представлен в табл. 1.

Балл литой структуры чугунов оценивался по следующим критериям:

1) форма, длина и распределение графита [5, 6]: пластинчатая форма, длина 25–90 мкм, равномерное распределение (отсутствие чанкового графита) – 3 балла, пластинчатая и завихренная форма, длина 15–180 мкм, равномерное распределение (отсутствие чанкового графита) – 2 балла, пластинчатая, завихренная и разорванная форма графита, длина до 360 мкм, неравномерное распределение и присутствие междендритного графита – 1 балл;

2) количество и распределение карбидных фаз: при содержании цементита до 5 % от площади шлифа и при равномерном распределении – 3 балла, при содержании цементита до 15 % – 2 балла, при содержании до 25 % и более (отбел структуры) – 1 балл;

3) микропористость литья: отсутствие микропористости – 3 балла, незначительная пористость в тепловом узле отливки – 2 балла, крупные поры и рыхлоты – 1 балл.

Таблица 1

Изменения в структуре чугуна Niresist Type 1 экспериментальных плавов

Индекс плавки (индекс режима) *	Модификатор, % от массы чугуна	Температура модифицирования/заливки, °С	Балл структуры
1(1)	ФС75, 0,3 %	1500/1400	5
2(2)	ФС75, 0,3 %	1500/1400	7
3(1)	ФС75Ba1, 0,3 %	1500/1400	5
4(2)	ФС75Ba1, 0,3 %	1500/1400	7
5(1)	ФС30P3M30, 0,04 %	1600/1400	3 (отбел)
6(2)	ФС30P3M30, 0,04 %	1600/1400	3(отбел)

* модифицирование чугуна

ФС30РЗМ30 производилось при выпуске в промежуточный (раздаточный) ковш. Цифра (1) означает классический режим плавки, цифра (2) – экспериментальный.

Общее значение балла структуры вычислялось по сумме баллов оценочных критериев. Исходный возврат производства в виде элементов ЛПС, технологических сливов и скрапа имел 3 балла структуры, после переплава при температуре 1300 °С – 3–4 балла. Изменения в морфологии графита представлены на рисунках 5–7.

Анализ структуры, согласно данным

табл. 1, показывает, что для чугуна марки Niresist Type 1 приемлемым вариантом при высокотемпературной выдержке в печи является «позднее» модифицирование (в разливочном ковше) ферросилицием с барием при дозе не более 0,2 % от массы чугуна. На втором месте по улучшению качества литой структуры чугуна находится ферросилиций литейный ФС75 при дозировке не более 0,2 %.

При низкотемпературном режиме ведения плавки хорошие результаты показывают как ферросилиций с барием, так и ФС75 при пониженных дозировках их ввода в расплав.



Рис. 5. Распределение графита при вводе ФС75Ba1 (0,3 %), x100.
Режим плавки с термовременной обработкой

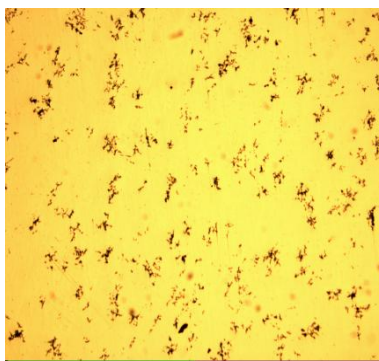


Рис. 6. Распределение графита при вводе ФС75 (0,3 %), x100.
Классический режим плавки

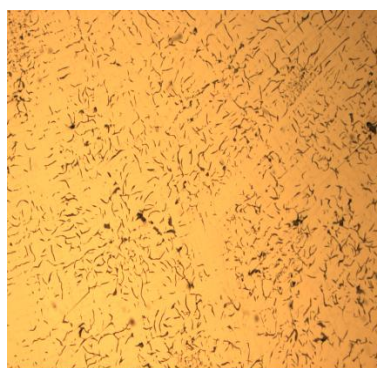


Рис. 7. Распределение графита при вводе ФС30РЗМ30 (0,02 %), x100.
Классический режим плавки

Для высоколегированного медью, хромом и никелем чугуна (марка Niresist Type 1) можно рекомендовать применение модификаторов на основе литейного ферросилиция с активным элементом (барий, стронций и т. п.) при дозировке ввода от 0,2 до 0,3 % от массы обрабатываемого расплава. Наиболее сильное изменение микроструктуры наблюдается при применении термовременной обработки расплава в ИП совместно с «поздним» модифицированием.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На сегодняшний день литые заготовки ступеней ЭЦН из высоколегированного чугуна Niresist Type 1 отличаются сочетанием высоких эксплуатационных свойств, стабильностью к ростоустойчивости структуры при отрицательных условиях эксплуатации и относительно низким браком в производстве, что делает этот конструкционный материал вне конкуренции. В производственном цикле ООО «ЛеМаЗ» имеются специфические условия производства, связанные с выплавкой, модифицированием и заливкой чугуна по литейным формам. Эти процессы требуют пристального мониторинга основных показателей качества как технологических операций, так и параметров используемых шихтовых

и прочих материалов.

По результатам промышленных экспериментов в ЧЛЦ можно заключить следующее:

1. Основным фактором, провоцирующим проявление различного рода дефектов структуры, является скорость охлаждения чугуна в отливках, что зависит, главным образом, от влияния литейной технологии производства. Возникновение отбела структуры зависит от скорости охлаждения и определяется при прочих равных условиях модифицированием конфигурацией литых заготовок ЭЦН.

2. В производственных условиях реализована технология выплавки высоколегированных чугунов в ИП, которая позволяет при 45 % возвратных материалов в металлозавалке добиться с высокой степенью детерминации (более 65 %) стабилизации поверхностной твердости отливок и прочности металлической основы, а также нивелирует склонность расплава к переохлаждению в процессе кристаллизации.

3. Наилучшие результаты по влиянию на изотропность структуры и свойств литых заготовок дает позднее модифицирование с технологией термовременной обработки расплава в ИП, при использовании модификаторов на основе ФС75 (рис. 8).

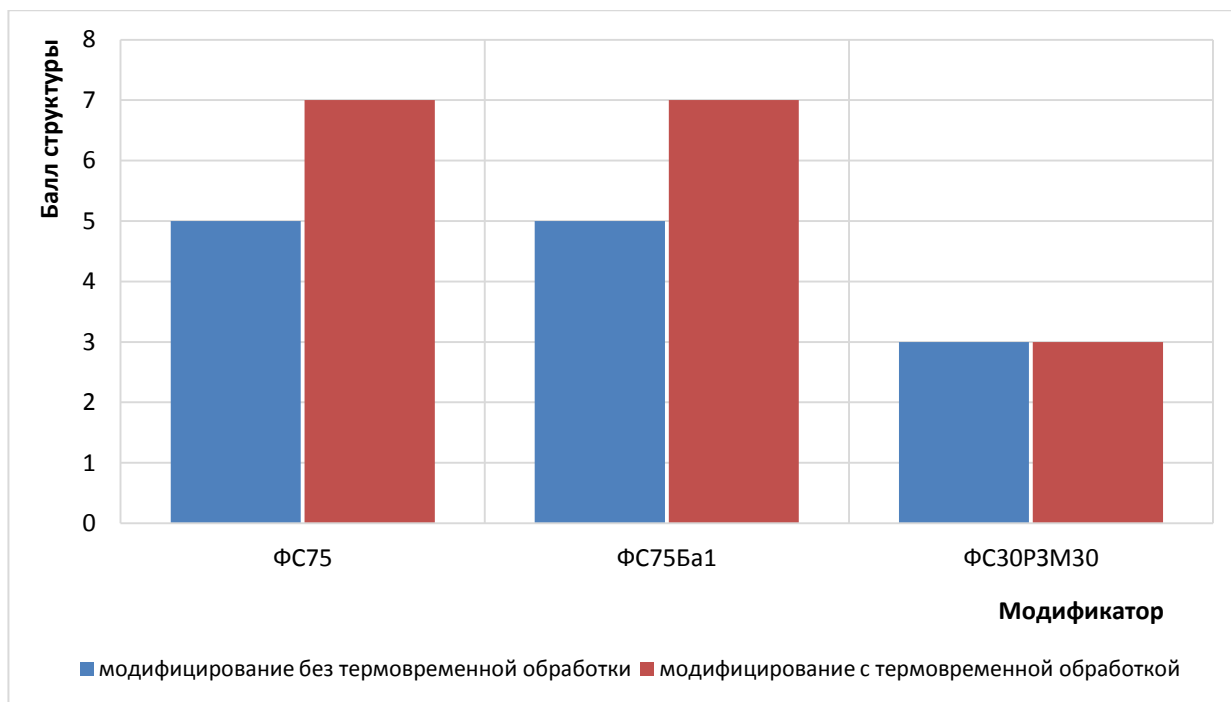


Рис. 8. Улучшение структуры чугунов для «Niresist Type 1»

4. При использовании в шихте только возврата производства можно рекомендовать литейным цехам использовать в качестве модификатора ФС75Ба1 в количестве 0,3 % для высоколегированных марок чугунов. Крупность модификатора зависит от температуры заливки отливок и составляет от 2,0 до 4,0 мм для температурного

диапазона от 1400 до 1450 °С.

Применение данных предложений приведет к снижению литейного брака минимально на 0,12 % (по данным ОГМет ООО «ЛеМаЗ»), что позволит получить оценочный годовой эффект в размере 0,6 млн. рублей (по данным Экономического отдела ООО «Лебедянский машиностроительный завод»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высококачественные чугуны для отливок / Н.Н. Александров, В.С. Шумихин, Н.Н. Кутузов [и др.] ; под ред. Н.Н. Александрова. – Москва : Машиностроение, 1982. – 222 с.

2. **Крестьянов, С.В.** Структурная наследственность при получении отливок из ЧШГ / С.В. Крестьянов // Литейное производство. – 1999. – № 1. – С. 18-20.

3. **Давыдов, С.В.** Технология наномодифицирования доменных и ваграночных чугунов / С.В. Давыдов // Заготовительное производство. – 2005. – № 2. – С. 3-9.

4. **Васильев, Е.А.** Отливки из ковкого чугуна / Е.А. Васильев. – Москва :

Машиностроение, 1976. – 248 с.

5. **Шипельников, А.А.** Результаты исследования и испытания технологии выплавки конструкционных чугунов с форсированным режимом и термовременной обработкой расплавов в индукционных печах с кислой футеровкой / А.А. Шипельников, С.А. Дубровский, А.Н. Роговский // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2010. – № 4 (22). – С. 76-81.

6. **Шипельников, А.А.** Особенности выплавки "нирезиста" в индукционных сталеплавильных печах / А.А. Шипельников, А.Н. Роговский // Вести высших учебных заведений Черноземья. – 2009. – № 2 (16). – С. 76-78.

Сведения об авторах:

Шипельников Алексей Александрович
кандидат технических наук, доцент
кафедры металлургических технологий,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
ashipelnikov@yandex.ru

Роготовский Александр Николаевич
кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой металлургических
технологий,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
arogotovskij@yandex.ru

Кашкаров Сергей Александрович
магистрант кафедры металлургических
технологий,
Липецкий государственный технический
университет.
398055, Россия, г. Липецк,
ул. Московская, д. 30.
Kashkarov_S@mail.ru

Information about the authors:

Shipelnikov Aleksey Aleksandrovich
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor of the Department of Metallurgical
Technologies
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st.,
30.
ashipelnikov@yandex.ru

Rogotovskiy Alexander Nikolaevich
Candidate of Technical Sciences, Associate
Professor, Head of the Department of
Metallurgical Technologies
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st.,
30.
arogotovskij@yandex.ru

Kashkarov Sergey Alexandrovich
Master's student of the Department of
Metallurgical Technologies,
Lipetsk State Technical University.
398055, Russia, Lipetsk, Moskovskaya st.,
30.
Kashkarov_S@mail.ru

DOI 10.53015/30343275_2026_1_73
УДК 621.74:004.94(07)

И.А. ПУГАЧЕВ, А.И. ВОЛОДИН, Н.Ю. КРЕТИНИН

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ СТРУКТУР СМЕННЫХ
ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Липецкий государственный технический университет

Аннотация: в статье рассматривается технология получения износостойких структур сменных органов почвообрабатывающего оборудования, изготавливаемых методами литья из высокопрочных чугунов с шаровидной формой графита с использованием систем компьютерного моделирования литейных процессов (СКМ ЛП) на примере изделия «Диск почвоуплотнителя».

Ключевые слова: почвообрабатывающее оборудование, высокопрочный чугун, литье, система компьютерного моделирования литейных процессов.

I.A. PUGACHEV, A.I. VOLODIN, N.Y. KRETININ

**TECHNOLOGY OF OBTAINING WEAR-RESISTANT STRUCTURES OF TILLAGE
EQUIPMENT TOOLS**

Lipetsk State Technical University, Lipetsk

Abstract: The article discusses the technology of obtaining wear-resistant structures of tillage equipment tools manufactured by casting from spheroidal graphite ductile iron using foundry computer aided engineering systems with the “Soil plankerr disc” as the example.

Keywords: tillage equipment, ductile cast iron, casting, foundry computer aided engineering system.

В работе [1] представлена разработанная нами технология литья изделия навесного оборудования почвообрабатывающего культиватора «Диск почвоуплотнителя» из высокопрочного чугуна марки ВЧ40 для производства на ООО «ЛТК «Свободный Сокол» для поставки этого изделия на

предприятие ПАО «Грязинский культиваторный завод» по их заказу. Технология разрабатывалась путем компьютерного моделирования в СКМ ЛП. Суть технологии понятна из представленной ниже 3D-модели отливки «Диск почвоуплотнителя» — рис. 1.

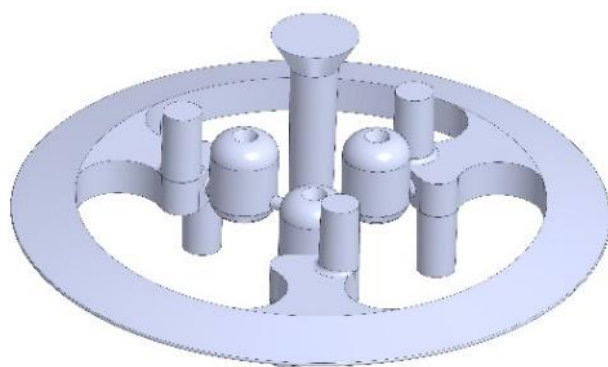


Рис. 1. 3D-модель отливки «Диск почвоуплотнителя»

Как следует из рис. 1, отливку предлагалось получать путем заливки высокопрочного чугуна в песчаную форму из ХТС через центральный стояк и три боковые прибыли. Моделирование показало, что данная технология обеспечивает получение «здоровых», плотных отливок без усадочных дефектов в теле изделия. В подтверждение этого на рис. 2 отображены результаты моделирования усадочных полей: слева — прозрачный режим отображения; справа — в режиме отображения «в разрезе».

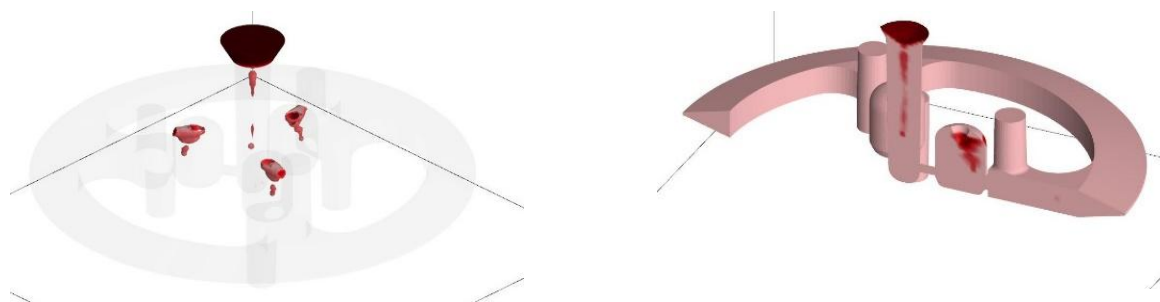


Рис. 2. Результаты моделирования усадочных полей: слева – прозрачный режим отображения; справа – в режиме отображения «в разрезе».

Как следует из рис. 2, усадочные поля полностью располагаются в боковых прибылях и отсутствуют в теле изделия «Диск почвоуплотнителя». Но разработанная технология не лишена недостатков. Главный из них заключается в том, что отливки из высокопрочного чугуна, получаемые в песчаных формах, могут иметь ферритную, ферритно-перлитную или даже полностью перлитную структуру металлической основы. Однако известно, что твердость по Бринеллю этих структур находится в диапазоне 100–280 НВ [2]. Такая твердость хотя и обеспечивает хорошие пластические и упругие механические

свойства высокопрочных чугунов, но совершенно недостаточна для работы в условиях интенсивного абразивного износа. А именно в таких условиях работают сменные органы почвообрабатывающего оборудования, такие как: лапы культиваторные стрельчатые, долотообразные лапы, лапы-отвальчики, ротационные игольчатые диски, зубовые и дисковые бороны, пропалочные боронки, почвообрабатывающие фрезы, сошники, лемехи и т. д. [3]. К этой же номенклатуре изделий относятся и диски почвоуплотнительные – рис. 3.



Рис. 3. Почвоуплотнитель с набором дисков.

Обычно вышеперечисленные сменные органы почвообрабатывающего оборудования изготавливают методом горячей объемной штамповки из низколегированных и легированных марок стали, например, 40ХС, 20Х13, 10Х12НД и т. п. с последующей поверхностной закалкой и отпуском рабочих поверхностей до твердости 45–55 HRC по Роквеллу, что приблизительно соответствует твердости 425–550 НВ по Бринеллю. Такая твердость рабочей поверхности обеспечивает высокую стойкость к абразивному износу при сохранении упругих свойств глубинных слоев материала изделия. Однако эта технология требует наличия очень дорогого и крупногабаритного кузнечнопрессового и термического оборудования, а также изготовления и применения специализированной дорогостоящей технологической оснастки – закрытых штампов. Именно по этой причине ПАО «Грязинский культиваторный завод» обратился на ООО «ЛТК «Свободный Сокол» с просьбой организовать производство и поставку литых изделий «Диск почвоуплотнителя» из высокопрочного чугуна, как дешевой альтернативе штампованным изделиям. Но, как было указано выше, рабочие поверхности изделий из высокопрочного чугуна без применения дополнительных технологических приемов подвержены интенсивному износу трением в случае работы таких изделий в условиях

агрессивной абразивной среды, каковой и являются почвы сельхоз назначения. Однако хорошо известно, что чугуны (в т. ч. и высокопрочные) являются в определенном смысле уникальными конструкционными материалами. Существуют виды так называемых износостойких «белых» и «половинчатых» чугунов. Металлическую основу таких чугунов составляют так называемые «отбеленные» структуры – цементит и ледебурит (феррито-цементитная эвтектика) [4]. Эти структуры обладают чрезвычайно высокой твердостью (в пересчете на единицы твердости по Бринеллю примерно 700–1100 НВ) [5], а, следовательно, очень высокой стойкостью к абразивному износу. Но с другой стороны, они очень хрупкие и неустойчивы к ударным нагрузкам. А как известно, сменные органы почвообрабатывающего оборудования работают не только в условиях агрессивного абразивного износа, но и в условиях интенсивных ударных знакопеременных нагрузок, особенно при обработке каменистых почв. Напрашивается вывод, что наружные рабочие поверхности литых сменных органов этого оборудования, непосредственно контактирующие с почвой, должны обладать высокой абразивной стойкостью, а срединные глубинные слои – высокими прочностными и упругими свойствами, стойкими к ударным нагрузкам, как и в

случае штампованных изделий (см. выше). Совершенно очевидно, что технология получения износостойких структур литых сменных органов почвообрабатывающего оборудования должна учитывать эти особенности. И именно высокопрочный чугун позволяет получить такое сочетание свойств в литом изделии. Если рабочие поверхностные слои сменных органов почвообрабатывающего оборудования из высокопрочного чугуна в процессе затвердевания подвергнуть интенсивному охлаждению и теплоотводу, а, следовательно, обеспечить высокую скорость кристаллизации, то в них сформируются «отбеленные» структуры высокой твердости. А более глубинные слои, затвердевающие в условиях менее интенсивного теплоотвода, сформируют высокопрочные и упругие структуры металлической матрицы, такие как перлит, троостит, бейнит и т. п. хорошо демпфирующие ударные нагрузки.

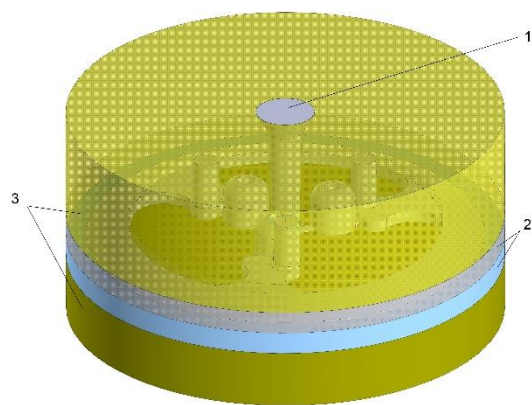
Так совпало, что в период с 2019 по 2021 год авторами настоящей статьи Пугачевым И.А. и Володиным А.И. при участии доцента кафедры химии ЛГТУ Карасевой Н.А. в рамках госпрограммы импортозамещения, проводимой под патронажем фонда содействия инновациям Бортника [6], была выполнена прикладная исследовательская работа «Разработка технологии производства лап культиватора с повышенной износостойкостью и сниженным сопротивлением обработки почв на основе высокопрочного чугуна». Результаты работы были оформлены отчетом, а также опубликованы в статье для научно-технического журнала «Литейное производство» [7]. Кроме того, по итогам работы были заявлены и получены два патента на изобретение по данной тематике. Один из патентов так и называется: «Способ получения

износостойких и упругих структур сменных органов почвообрабатывающего оборудования». Технология получения таких структур становится понятной из формулы изобретения к патенту [8]:

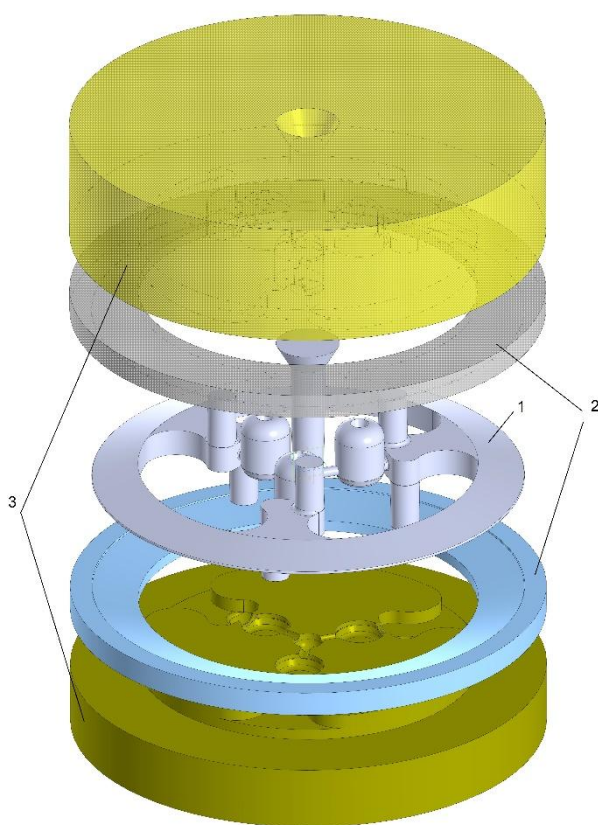
«1. Способ получения отливки рабочего органа почвообрабатывающего оборудования, включающий изготовление из высокопрочного чугуна и его заливку в литейную форму, отличающийся тем, что заливку высокопрочного чугуна осуществляют в кокиль с формообразующими вставками из огнеупорного материала с низкой теплопроводностью, причем части отливки рабочего органа, работающие в условиях абразивного износа, формируют в необлицованных стенках кокиля с обеспечением отбеленных структур высокопрочного чугуна, а части отливки рабочего органа, работающие в условиях циклических нагрузок, формируют в формообразующих вставках кокиля с обеспечением получения перлитных, мартенситных и бейнитных структур высокопрочного чугуна.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что в кокиль заливают высокопрочный чугун, имеющий следующий химический состав, мас. %: 3,3–4,0 C; 2,2–2,9 Si; 0,3–0,8 Mn; 0,1–1,2 Cu; 0,1–1,25 Ni; 0,0–0,7 Mo; 0,0–0,1 V».

Совершенно естественно было бы применить наработки, полученные при выполнении вышеупомянутой прикладной исследовательской работы и материалы патента для разработки улучшенной технологии производства литых изделий «Диск почвоуплотнителя» с целью получения износостойких структур рабочих поверхностей повышенной твердости. 3D-модель одного из вариантов такой технологии представлен на рис. 4: а) – форма в сборе; б) – в режиме «разнесение компонентов».



а) – форма в сборе

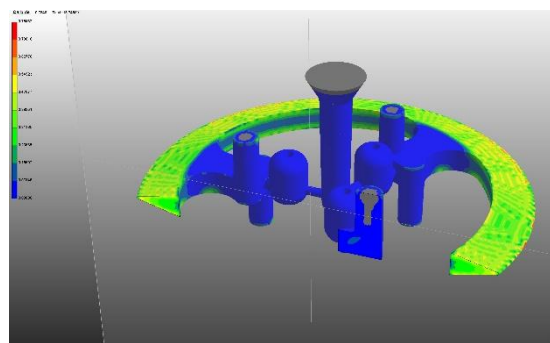
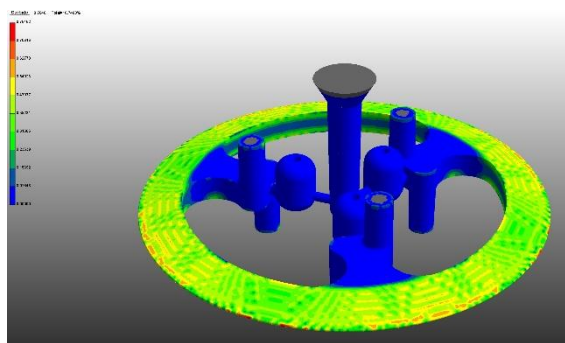


б) – в режиме «разнесение компонентов»

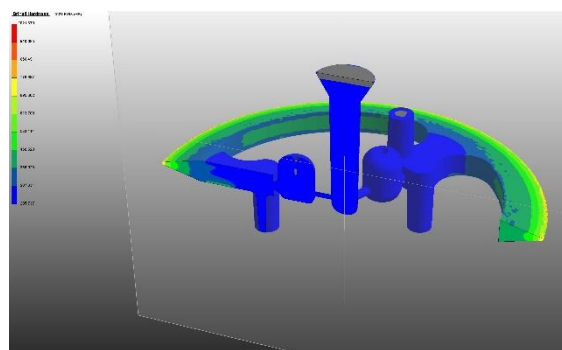
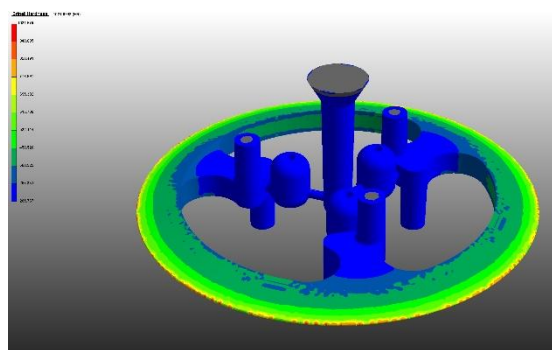
Рис. 4. 3D-модель технологии производства литых изделий «Диск почвоуплотнителя»
 1 – отливка «Диск почвоуплотнителя»; 2 – кокиль; 3 – песчаная форма
 (формообразующие вставки)

Из рис. 4 следует, что предлагаемая технология представляет собой литье в так называемую «комбинированную форму». Рабочие поверхности отливки «Диск почвоуплотнителя» 1 формируются стенками необлицованного кокиля 2, а остальные – песчаной формой/вставками 3 с низкой теплопроводностью, что полностью соответствует формуле изобретения патента.

Результаты моделирование в СКМ ЛП процесса образования и распределения структур металлической основы отливки «Диск почвоуплотнителя» и распределение твердости в единицах НВ представлены на рис. 5: а) — распределение структур металлической основы (справа — «в разрезе»); б) — распределение твердости в единицах НВ (справа — «в разрезе»).



а) – распределение структур металлической основы



б) – распределение твердости

Рис.5. Результаты моделирование в СКМ ЛП образования и распределения структур металлической основы отливки «Диск почвоуплотнителя» и распределение твердости в единицах НВ

На рис. 5 видно, что на кромках рабочих поверхностей литого изделия «Диск почвоуплотнителя», непосредственно соприкасающихся с почвой, образовались твердые износостойкие карбидные структуры металлической основы твердостью 705–775 НВ, что соответствует твердости цементита и ледебурита. А в остальных срединных слоях отливки сформировались структуры с твердостью 205–280 НВ. Это соответствует твердости перлитных структур металлической матрицы, обладающей высокими

прочностными и упругими свойствами. Таким образом, разработанная технология позволяет полностью достичь целей, сформулированных в вышеупомянутом патенте, — достижение высокой износостойкости рабочих кромок сменных органов почвообрабатывающего оборудования при достижении и сохранении высоких прочностных и упругих свойств несущих частей этих органов, стойких к знакопеременным нагрузкам в процессе работы.

ВЫВОД

Предлагаемая технология получения износостойких структур при производстве литых изделий «Диск почвоуплотнителя» позволяет значительно снизить производственные затраты на их изготовление, так как не требует дорогостоящего горячештаповочного и

термического оборудования, улучшить их эксплуатационные свойства и увеличить срок эксплуатации до их замены. А это значит, что технико-экономические показатели технологического процесса их изготовления и эксплуатации будут значительно лучше даже по сравнению с горячештаповочными изделиями аналогичного назначения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Кретинин, Н.Ю.** Разработка технологии литья изделия «Диск почвоуплотнителя» с применением СКМ ЛП / Н.Ю. Кретинин, И.А. Пугачев. – Текст: непосредственный // Материалы областного семинара «Зимняя школа молодых ученых. – Липецк. 2025. – С. 313-319.

2. **Шерман, А.Д.** Чугун : справочник / А.Д. Шерман, А.А. Жуков, Э.В. Абдуллаев [и др.] – Москва : Металлургия, 1991. – 576 с. – Текст: непосредственный.

3. **Красниченко, А.В.** Справочник конструктора сельскохозяйственных машин. Т. I, II / А.В. Красниченко. – Москва : Машиностроение, 1961. – 456 с. – Текст: непосредственный.

4. **Гиршович, Н.Г.** Справочник по чугуному литью / Н.Г. Гиршович. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 758 с. – Текст: непосредственный.

5. Лаборатория металлографии / Е.В. Панченко, Ю.А. Скаков, В.И. Кример

[и др.]. – Москва : Металлургия, 1965. – 440 с. – Текст: непосредственный.

6. Фонд содействия инновациям Бортника : сайт. – Москва, 2026.-.... – URL: <https://get-grant.ru/что-такое-фонд-bortnika/?ysclid=mm9ggsuuyyn792163903> (дата обращения 03.03.2026). – Текст: электронный.

7. **Пугачев, И.А.** Разработка технологии и изготовление литого опытного образца изделия *лапа культиватора* / И.А. Пугачев, А.И. Володин. – Текст: непосредственный // Литейное производство. – 2020. – № 4. – С. 25-29.

8. **Патент РФ № 2769338** Российская Федерация, МПК В22D 27/04 (2006.01). Способ получения износостойких и упругих структур сменных органов почвообрабатывающего оборудования : № 2020117349 : заявл. 27.05.2020 : опубл. 30.03.2022 Бюл. №10 / Володин А.И., Пугачев И.А. – Москва : 2022. – 13 с. – Текст: непосредственный.

Сведения об авторах:

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 authors:

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.

Володин Александр Игоревич

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

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Кретинин Николай Юрьевич

студент группы МЛ-25-1 кафедры
оборудования и процессов
машиностроительных производств
Липецкий государственный технический
университет.

398055, Россия, г. Липецк,

ул. Московская, д. 30.

Volodin Alexander Igorevich

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

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

Kretinin Nikolai Yurievich

Student of group ML-25-1 of the Department
Equipment and Processes of Machine-
building Industry, Lipetsk State Technical
Lipetsk State Technical University.

398055, Russia, Lipetsk,

Moskovskaya st., 30.

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.

ПРИМЕР ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ
DOI (присваивается редакцией)
УДК 656.078:338.2

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).

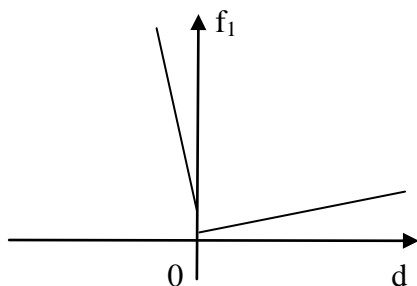


Рис. 1. График функции потерь потребителя

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.

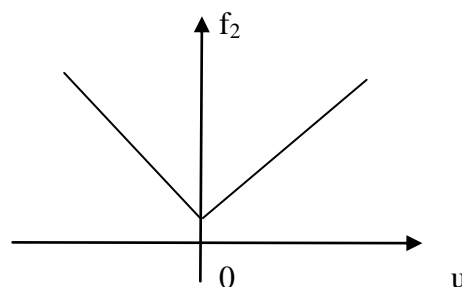


Рис. 2. График функции потерь производителя

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.

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

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.

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)**

№ 1 (62) 2026 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) 32-80-51.

Липецкий государственный технический университет.

Адрес: 398055, Липецк, ул. Московская, 30.

Редактор: М.Л. Дрепина

Перевод (англ.) Н.В. Барышев

Дата подписания к использованию 31 марта 2026 года