

ISSN 2306-8493

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ

**СОВРЕМЕННОЙ
НАУКИ,
ТЕХНИКИ И
ОБРАЗОВАНИЯ**

2025. Т. 16. №1

конференция
83

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ISSN 2306-8493

Научно-технический журнал

2025. Т. 16. №1

Учредитель – Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова
(455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38)

Главный редактор:

проф., д-р техн. наук *О.Н. Тулунов*

Ответственный редактор:

канд. техн. наук *С.В. Пыхтунова*

Редколлегия:

доц., канд. техн. наук *М.В. Андросенко*

доц., канд. техн. наук *Ю.Н. Кондрашова*

доц., канд. ист. наук *Н.Н. Макарова*

канд. пед. наук *Е.А. Москвина*

доц., канд. арх. *Е.К. Подобреева*

Редактор: *Н.П. Боярова*

Технический

редактор: *Т.В. Леонтьева*

© ФГБОУ ВО «МГТУ
им. Г.И. Носова», 2025

Адрес редакции:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова».
Тел. (3519) 29-84-63.
E-mail: pio@magtu.ru

Адрес издателя:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. К.Маркса, 45/2,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
издательский центр.

Адрес типографии:

455000, Челябинская обл.,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38,
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»,
участок оперативной полиграфии.

Сведения о журнале размещаются
в базах данных РИНЦ, ВИНТИ
и в сети Интернет.

16+, в соответствии с Федеральным
законом №436-ФЗ от 29.12.10.

Выход в свет 10.09.2025 г. Заказ 284.
Тираж 300 экз. Цена свободная.

СОДЕРЖАНИЕ

Смирнов А.Н., Будаев П.Е.

Анализ факторов, влияющих на механическую прочность металлургического
кокса 2

**Харитонов В.А., Песин А.М., Локотунниа Н.М., Лукьянов Е.Д., Песин И.А.,
Бирюков М.А.**

Исследование влияния скоростной асимметрии на параметры прокатки
в четырехвалковом калибре 6

Смирнов А.Н., Зинченко С.С.

Определение параметров пластического состояния угольной шихты,
экспериментальные и расчетные данные 11

Струкова В.И., Каменских А.А., Носов Ю.О., Пустовалов Д.О.

Математическое описание поведения фотополимера для литья по выжигаемым
моделям 16

**Юдина С.В., Харченко А.С., Сибгатуллин С.К., Свечникова Н.Ю.,
Юдин Д.В., Потапов И.М.**

Оценка дренажной способности горна доменной печи при изменении
эквивалентной крупности кокса 21

Загвоздин А.Я., Рябчиков М.Ю.

Косвенный контроль температуры рабочего пространства протяжной печи
АНГЦ с применением упрощенной модели теплопроводности стенки 25

Мазнин Д.Н., Таныгина М.В., Башкиров Д.И.

Утечки персональных данных – актуальная информационная угроза 28

Масленникова О.Е.

ВИ-системы на базе технологий экосистемы «1С»: возможности разработки 31

**Николаев А.А., Максимов И.И., Кудимов В.Д., Матушкин Н.Р.,
Емельянов В.А.**

Разработка усовершенствованных алгоритмов управления взаимосвязанными
электроприводами непрерывно-травильного агрегата 33

Яковлев Е.И., Ремезова А.П.

Моделирование тепловых процессов при индукционном нагреве прокатного
валка с использованием двух индукторов различной мощности 38

Басков В.А., Лимарев А.С., Медяник Н.Л.

Актуальность методики оценки качества буровых растворов 41

Столяров Ф.А., Гун Л.И.

Обеспечение заданного уровня качества шаровых шарниров посредством
модернизации методик испытаний 45

Питько О.А.

Психологическое здоровье студентов в условиях дистанционного обучения 48

Сергеева Е.В., Сергеева Д.Д.

Всестороннее развитие личности через внеурочную деятельность по математике.. 51

Давыдов А.П., Файзрахманов Н.Р.

Численное моделирование трёхфотонной интерференции от трёх независимых
однотонных источников в рамках квантовой механики фотона 54

Москвина Е.А., Белоусова И.Д., Москвин Д.А., Бузуева М.В.

Использование цифровых двойников на производстве: преимущества,
проблемы и перспективы 57

Москвин Д.А., Москвина Е.А., Белоусова И.Д., Бузуева М.В.

Цифровая трансформация в химической промышленности 60

УДК 662.749.2:001.5

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОКСА

Смирнов А.Н., Будаев П.Е.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В данной работе рассмотрены механические параметры металлургического кокса, приведены результаты исследования структурной прочности кокса с известными показателями «холодной» и «горячей» прочности. Была оценена связь структурной прочности от других прочностных показателей методами корреляционного анализа, дана оценка связям, также выявлена возможность прогнозирования показателя M25 на основе испытания на структурную прочность кокса с вероятностью 95%.

Ключевые слова: горячая прочность кокса, металлургический кокс, параметры кокса, холодная прочность кокса, M25, M10, реакционный индекс, корреляционная связь между параметрами кокса, доверительный интервал

Введение

Валовый кокс – это кокс, который непосредственно выдается из камеры коксования и включает в себя различные фракции по гранулометрическому составу. Типичный состав валового кокса представлен в табл. 1.

Таблица 1

Примерный гранулометрический состав валового кокса

Классы крупностью, мм	Металлургический кокс >40	Коксовая фракция 25-40	Коксовый орех 10-25	Мелочь <10
Выход классов, %	80-81	6-8	1-1,5	4-6

Кроме гранулометрического состава, кокс характеризуется следующими основными параметрами: сернистостью, влажностью, зольностью, теплотворной способностью и механическими свойствами.

Механическая прочность металлургического кокса – один из ключевых параметров, определяющих ход доменного процесса в целом. Обеспечение высокой прочности кокса позволяет снизить расход кокса, повысить производительность доменной печи и уменьшить затраты на производство чугуна [1].

Существуют параметры, определяемые так называемой «холодной» прочностью кокса – дробимость (показатель M25) и истираемость (показатель M10). Эти параметры актуальны для российских КХП. В международной практике определяется «горячая» прочность кокса (CSR) –

прочность кокса после реакции с диоксидом углерода. Отражает выход фракции +9,5-10 мм, оставшегося на сите с соответствующими размерами ячеек [2].

CRI – способность кокса реагировать с диоксидом углерода при температуре 1100°C в ходе стандартного испытания. Определяется по убыли массы кокса. Для определения «холодной» прочности масса пробы составляет от 50 до 100 кг, тогда как для определения параметров «горячей» прочности используется проба массой 200 г с размером частиц 19–22,4 мм [3, 4].

Факультативно для характеристики свойств кокса проводится определение структурной прочности кокса.

Структурная прочность кокса (P_c) – прочность тела кокса, лишённого трещин, определяется путём измельчения пробы до крупности 3–6 мм. Затем отбираются две пробы объёмом по 25 см³ каждая, после чего проводится испытание во вращающихся цилиндрах со скоростью 25 об/мин в течение 40 мин (1000 об). После испытания проба рассеивается на сите с размером ячеек 1 мм. Структурная прочность кокса отражает выход кокса, оставшегося на сите (+1 мм) [5].

Актуальность данной работы обусловлена необходимостью рационализации свойств кокса для достижения максимальной эффективности доменного процесса [6]. В частности, проведены исследования связи между структурной прочностью и механическими параметрами кокса.

Методика исследования и образцы

Структурная прочность кокса определялась согласно методике [5]. В качестве исследуемых образцов использовался кокс с известными показателями «холодной» и «горячей» прочности.

Поскольку кокс, в частности для испытания на реакционный индекс, отбирается методом квартования [2], если разница в результатах испытаний в двух параллелях не превышает допустимую норму, результаты усредняют. В противном случае проводится третье испытание, и результаты также усредняются, а «неиспользованная» часть пробы утилизируется. Именно эта часть пробы была взята для исследования, для которой известны качественные показатели.

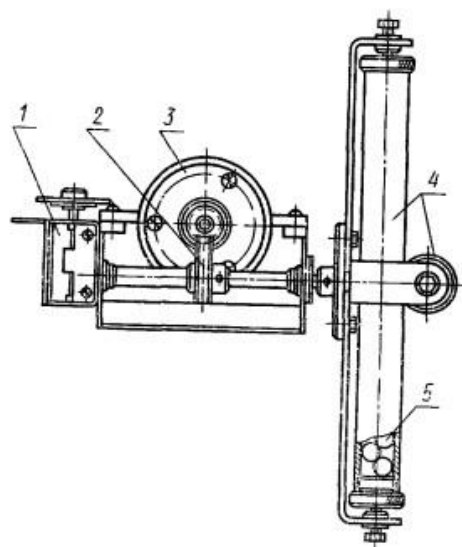


Рис. 1. Схема установки для исследования структурной прочности кокса:

1 – счетчик оборотов с автоматическим отключателем; 2 – редуктор; 3 – мотор; 4 – цилиндры; 5 – стальной шар

Результаты и их обсуждение

Данные по структурной прочности сопоставлялись с другими прочностными характеристиками. Результаты исследования представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты исследования

П _c , %	M25, %	M10, %	CRI, %	CSR, %
85,7	87,0	8,50	31,6	54,8
81,8	87,8	8,35	30,1	54,2
85,9	86,3	8,45	26,1	58,3
84,4	86,2	8,8	31,4	55,1
83,1	87,5	8,25	31,6	55,3
82,0*	87,8	8,10	33,0	52,1

*в результате статистической обработки данных была выявлена грубая ошибка, и далее это значение не использовалось.

После проведения испытаний данные сопоставлялись между собой для оценки корреляционных связей структурной прочности с другими параметрами. Графически корреляционные связи представлены на рис. 2.

Корреляционные связи (R) для зависимостей составили: структурной прочности от дробимости $R = -0,83$; структурной прочности от истираемости $R = 0,59$; структурной прочности от реакционной способности кокса $R = -0,51$; структурной прочности от «горячей» прочности $R = 0,71$.

Теснота связи оценивается по модулю коэффициента корреляции: чем ближе значение к единице, тем теснее связь [7].

Самой тесной связью обладает зависимость структурной прочности показателя M25 (рис. 2, а), однако она является нелогичной, поскольку корреляционный график показывает, что с увеличением прочности тела кокса его ударная прочность снижается, что противоречит логике.

Строя подобные рассуждения, зависимость от M10 также была оценена как «нелогичная».

Хорошими по значению и вполне объяснимыми являются зависимости от «горячей» прочности и реакционного индекса.

Гипотеза для зависимости от CRI следующая: уменьшение структурной прочности свидетельствует о более пористой и трещиноватой структуре образца, что, в свою очередь, увеличивает площадь контакта с реагентами (в частности, с CO₂ при испытании на реакционный индекс) и повышает реакционную способность кокса. Зависимость от «горячей» прочности объясняется тем, что чем прочнее кокс в холодном состоянии, тем прочнее он и в горячем.

Прогнозирование показателей M25 на основе испытания структурной прочности. Значения структурной прочности и соответствующие показатели M25 подвергались статистической обработке для определения доверительных интервалов.

Для П_c доверительный интервал составил $84,18 \pm 0,82\%$, для M25 – $86,14 \pm 0,82\%$. Схематически доверительные интервалы структурной прочности и дробимости изображены на рис. 3.

Поскольку доверительные интервалы этих значений пересекаются (для максимальных значений по П_c и минимальных по M25), с вероятностью 95% можно прогнозировать качество кокса по показателю M25 на основе испытания структурной прочности.

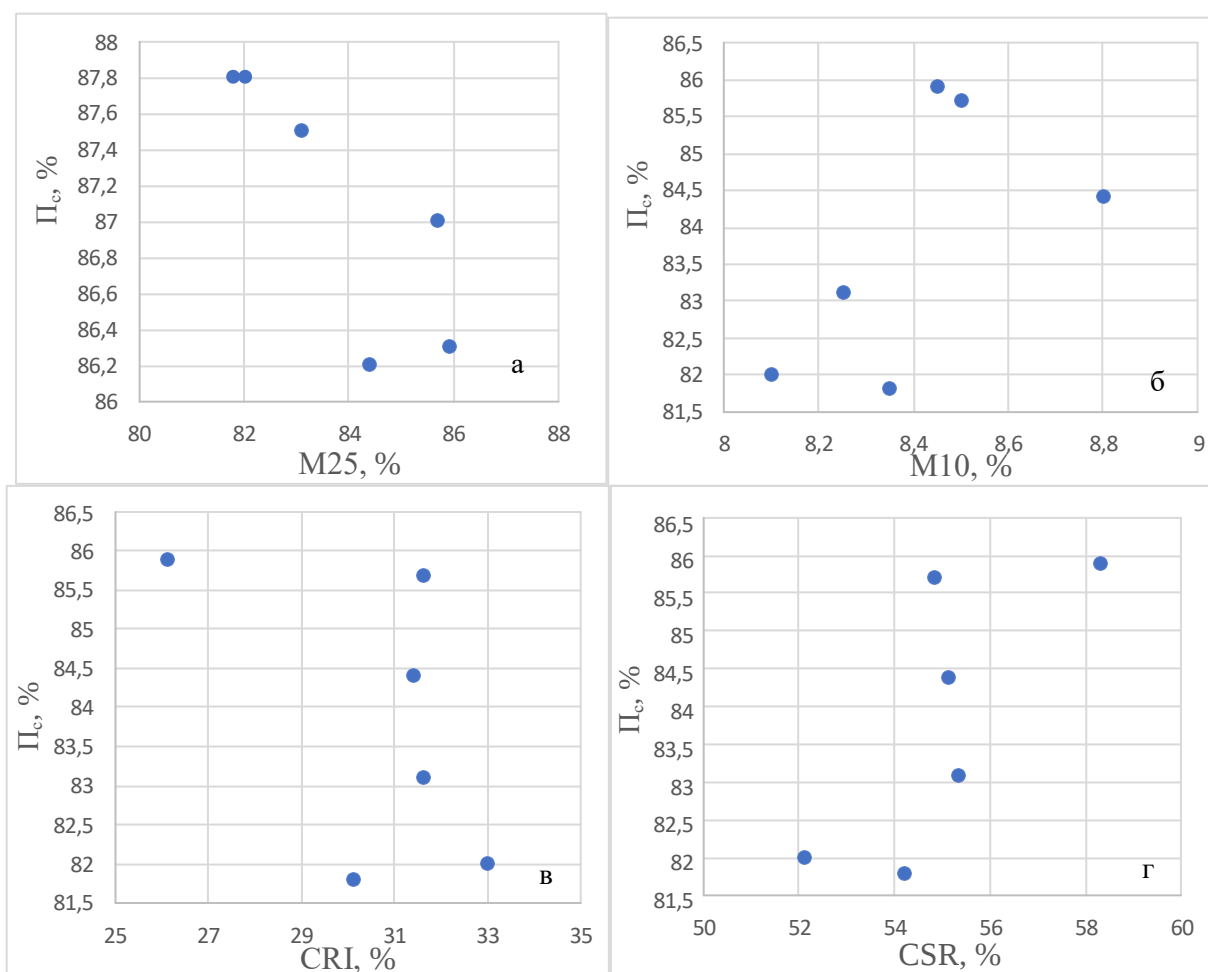


Рис. 2. Зависимость структурной прочности от:
а – показателя M25; б – показателя M10; в – реакционного индекса; г – «горячей» прочности

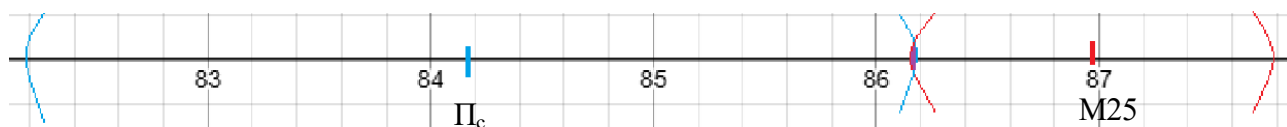


Рис. 3. Схематическое изображение пересечения доверительных интервалов структурной прочности и M25

Выводы

Проанализирована связь между структурной прочностью и параметрами «холодной» и «горячей» прочности.

Полагаем адекватной корреляционную связь между структурной прочностью и «горячей» прочностью.

Установлено, что значения структурной прочности лежат в интервале $84,18 \pm 0,82\%$, а для M25 – $86,14 \pm 0,82\%$. Поскольку доверительные интервалы пересекаются, с вероятностью 95% можно прогнозировать качество кокса по показателю M25 на основе испытания структурной прочности.

Список источников

1. Смирнов А.Н., Алексеев Д.И. Классификация параметров качества металлургического кокса по степени важности для конечного потребителя и возможность их регулирования в рамках коксохимического предприятия // Научный диалог: Молодой ученый: сборник научных трудов по материалам X международной научной конференции, Санкт-Петербург, 22 октября 2017 года / Международная Научно-исследовательская Федерация «Общественная наука». Санкт-Петербург: ЦНК МНИФ «Общественная наука», 2017. С. 8-9.
2. ГОСТ 23083-23. Кокс каменноугольный, пековый и термоантрацит. Методы отбора и подготовки проб для испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 9 с.

3. ГОСТ Р 54250-2010. Кокс. Определение реакционной способности (CRI) и прочности кокса после реакции (CSR). М.: Стандартинформ, 2019. 20 с.
4. ГОСТ Р 54250-2010 (ИСО 18894:2006). Кокс. Определение реакционной способности (CRI) и прочности кокса после реакции с CO_2 (CSR).
5. ГОСТ 9521-74. Угли каменные. Метод определения коксующести. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с.
6. Курунов И.Ф., Емельянов В.Л., Титов В.Н. Влияние качества кокса на показатели работы доменных печей // *Металлург*. 2007. № 12. С. 37–39.
7. Баврина А.П., Борисов И.Б. Современные правила применения корреляционного анализа // *Медицинский альманах*. 2021. №. 3 (68). С. 70-79.

Сведения об авторах

Смирнов Андрей Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sman@magtu.ru. ORCID 0000-0002-7399-9586.

Будаев Павел Егорович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: budaevpavel6@gmail.com.

УДК 621.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТНОЙ АСИММЕТРИИ НА ПАРАМЕТРЫ ПРОКАТКИ В ЧЕТЫРЕХВАЛКОВОМ КАЛИБРЕ

Харитонов В.А., Песин А.М., Локотунина Н.М., Лукьянов Е.Д., Песин И.А., Бирюков М.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Одним из перспективных способов получения улучшенных механических свойств металлов и сплавов является процесс динамической рекристаллизации. Среди методов активизации и прохождения указанного процесса можно выделить асимметричную прокатку. В работе рассмотрено влияние различных схем асимметрии скоростей валков на напряженно-деформированное состояние металла и энергосиловые параметры при сортовой прокатке в двухвалковой клети и в клети с четырёхвалковым калибром. На основе численного моделирования в среде QForm показано, что использование различных вариантов скоростной асимметрии в четырёхвалковом калибре позволит повысить величину эффективной деформации при прокатке и, следовательно, уменьшить размер зерна деформируемого металла, что приведет к улучшению механических свойств. Кроме того, расчет энергосиловых параметров процесса прокатки показал возможность снижения усилия прокатки с увеличением коэффициента асимметрии.

Ключевые слова: асимметричная прокатка, напряженно-деформированное состояние, многовалковые калибры, энергосиловые параметры, скоростная асимметрия

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-20026, <https://rscf.ru/project/24-19-20026/>

Одной из наиболее актуальных научно-технических и технологических проблем производства металлических длинномерных изделий является разработка энергоэффективных и ресурсосберегающих технологических процессов, обеспечивающих одновременное сочетание высокой прочности и пластичности металла. Традиционно такое сочетание свойств достигается с помощью одной или нескольких операций термической обработки, которые увеличивают производственный цикл и приводят к повышению затрат. В связи с этим первоочередной задачей современного металлургического предприятия является поиск альтернативных способов получения требуемой структуры, которые обеспечат необходимые качественные показатели изготавливаемой продукции при снижении затрат.

Другим перспективным способом получения улучшенных механических свойств металлов и сплавов является процесс динамической рекристаллизации. Одним из методов активизации и прохождения указанного процесса является асимметричная прокатка. Исследования в области асимметричной прокатки листа проводятся в МГТУ им. Г.И. Носова в лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» с использованием стана 400 листовой прокатки с индивидуальным приводом рабочих валков, кото-

рому официально присвоен статус уникальной научной установки. Асимметричная листовая прокатка представляет собой процесс, который выполняется с большим обжатием по толщине за один проход и высоким контактным трением, что обеспечивает высокий градиент деформации сдвига. В результате наблюдается значительное повышение температуры в очаге деформации за счет фрикционного и деформационного разогрева. Высокий градиент деформации сдвига в сочетании с повышением температуры обеспечивает термомеханически активированное зарождение и прохождение динамической рекристаллизации с формированием в обрабатываемых листовых металлах и сплавах градиентной структуры и улучшенных пластических свойств. Проведенные в лаборатории «Механика градиентных наноматериалов им. А.П. Жилиева» обширные исследования показали, что при асимметричном деформировании листов усилие прокатки за один проход снижалось с 1100–1500 до 270 кН, при этом размер зерна изменялся с 14,5 до 2–3 мкм (для стали Р6М5) и с 14,5 до 2,7 мкм (для стали ЭЗА). В 99% зерен заканчивалась динамическая кристаллизация [1, 2].

Данные ранее проведенных исследований были сфокусированы на листовой прокатке. Поэтому исследования, направленные на изучение закономерностей асимметричной сортовой прокатки, являются актуальными.

Среди многих применяемых в настоящее время способов прокатки круглой заготовки в цилиндрических валках (на гладкой бочке) наиболее распространенными являются плющение и прокатка (протяжка) в многовалковых калибрах [3-6].

В настоящей работе будет изучен новый промышленно-применимый способ получения металлических длинномерных изделий с высокими пластическими и прочностными свойствами за счет протекания прерывистой динамической рекристаллизации, которая способствует уменьшению размера действительного зерна, снижению напряжения и увеличению вязко-пластических характеристик, что будет оказывать положительное влияние на технологичность дальнейшей переработки стали и сплавов [7, 8]. Научная значимость предлагаемой работы заключается в необходимости исследования принципиально новых эффектов асимметричного объемного деформирования, возникающих при обработке углеродистых деформируемых сталей с рассогласованием скоростей валков калибра. В результате в очаге деформации кардинально меняется механическая схема, которая в сочетании с тепловыми эффектами может приводить к глубокому измельчению структуры. Запрос на разработку соответствующих технологий со стороны одного из крупнейших метизных предприятий РФ подтверждает востребованность и масштабность решаемых в предлагаемом проекте задач.

Целью данного исследования на данном этапе являлось изучение влияния скоростной асимметрии валков на характеристики процесса деформации в многовалковых калибрах. В рамках исследования проведено сравнительное моделирование процесса симметричной и асимметричной прокатки в двухвалковой клети и в клети с четырехвалковым калибром. Данные моделирования предполагается использовать для проектирования стана с четырехвалковым калибром.

В качестве метода исследования применен комплекс конечно-элементного моделирования Qform-3d. Диаметр валков 200 мм. Заготовка принималась как пластическое тело из стали марки 20. Длина заготовки 100 мм, диаметр заготовки 10 мм. Сторона полученного квадрата на выходе из четырехвалкового калибра 7,07 мм. Использовалась схема горячей прокатки – круг-квадрат при температуре 900°C. Трение принималось по закону Зибеля со значением, равным 0,7. Валки приняты недеформируемыми, клеть – жесткой, а теплообмен заготовки происходит со всеми элементами – окружающей средой и валками.

Для моделирования процесса симметричной прокатки круглой заготовки использовали двухвалковую клеть с валками, имеющими гладкую бочку, и четырехвалковую клеть – клеть с многовалковыми калибрами (рис. 1). В ходе моделиро-

вания скорости всех валков были одинаковыми или при симметрии относительно двух плоскостей попарно одинаковыми.

Для моделирования процесса асимметричной прокатки круглой заготовки использовали двухвалковую клеть с валками, имеющими гладкую бочку, и четырехвалковую клеть – клеть с многовалковыми калибрами (см. рис. 1). В ходе моделирования изменялась скорость вращения валков в диапазоне 1-1,6 (коэффициент асимметрии).

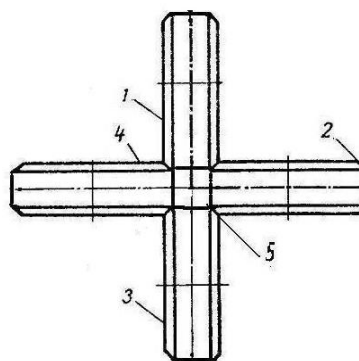


Рис. 1. Схема расположения рабочих валков (1-4) в четырехвалковом калибре:

- 1, 2 – соответственно верхний и правый рабочие валки; 3, 4 – соответственно нижний и левый рабочие валки; v_1 – окружная скорость первого валка (1); v_2 – окружная скорость второго валка (2); v_3 – окружная скорость третьего валка (3); v_4 – окружная скорость четвертого валка (4); 5 – прокатываемая заготовка

При моделировании прокатки в двухвалковой клети были рассмотрены следующие варианты:

- симметричная прокатка круглой заготовки ($v_1 = v_2$);
- асимметричная прокатка круглой заготовки ($v_1 > v_2$).

При моделировании прокатки в четырехвалковом калибре были рассмотрены следующие варианты (рис. 1):

- симметричная прокатка круглой заготовки ($v_1 = v_2 = v_3 = v_4$);
- симметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей ($v_1 = v_3 > v_2 = v_4$);
- симметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей ($(v_1 = v_3) > (v_2 = v_4$ – неприводные валки);
- асимметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($v_1 = v_4 > v_2 = v_3$);
- асимметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($v_3 > v_1 > v_2 = v_4$ – неприводные валки);

– асимметричная прокатка круглой заготовки, при которой каждый валок имеет индивидуальную скорость ($v_4 > v_3 > v_2 > v_1$).

В ходе моделирования процессов симметричной и асимметричной прокатки круглой заготовки в двухвалковой клети с валками, имеющими гладкую бочку, и прокатки в четырехвалковом калибре было изучено влияние скоростной асимметрии на напряженно-деформированное состояние металла и энергосиловые параметры процесса прокатки.

Моделирование симметричной и асимметричной прокатки круглой заготовки в двухвалковой клети. С увеличением коэффициента скоростной асимметрии рабочих валков будут увеличиваться интенсивность напряжений в зоне контакта с рабочими валками, а эффективная деформация будет увеличиваться в зоне контакта с валком, имеющим большую скорость, и уменьшаться в зоне контакта с валком, имеющим меньшую скорость.

Моделирование симметричной прокатки в четырехвалковом калибре и асимметричной с неприводными валками. В случае симметричной прокатки ($v_1 = v_2 = v_3 = v_4$) эффективная деформация меняется в диапазоне 0,1-0,82, а интенсивность напряжений находится в диапазоне 16,2-138,4 МПа.

В случае симметричной прокатки круглой заготовки относительно двух плоскостей ($v_1 = v_3 > v_2 = v_4$) будет наблюдаться следующая картина. С увеличением коэффициента скоростной асимметрии на контакте с валками, имеющими большие скорости наблюдается увеличение эффективной деформации до максимального значения 1,41 и интенсивности напряжений – до 145 МПа, а на валках с меньшей скоростью – их уменьшение.

В случае симметричной прокатки круглой заготовки относительно двух плоскостей ($v_1 = v_3 > v_2 = v_4$ – неприводные валки) и для асимметричной прокатки ($v_3 > v_1 > v_2 = v_4$ – неприводные валки) получаем следующую картину: максимальное значение интенсивности напряжений достигает 146 МПа, а максимальное значение эффективной деформации составляет 1,96.

Моделирование асимметричной прокатки круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($(v_1 = v_4) > (v_2 = v_3)$). В данном случае происходит увеличение эффективной деформации до 1,55 на контакте с валками, имеющими большую скорость, что не дает возможность рассматривать данный случай как приоритетный. А интенсивность напряжений по мере увеличения коэффициента асимметрии увеличивается на контакте с валками, имеющими большие скорости и уменьшается на контакте с валками, имеющими меньшие скорости.

Моделирование асимметричной прокатки круглой заготовки, когда каждый валок имеет

индивидуальную скорость ($v_4 > v_3 > v_2 > v_1$). Максимальное значение интенсивности напряжений в этом случае достигает значения 153 МПа, а максимальное значение эффективной деформации составляет 1,6.

Анализ напряженно-деформированного состояния металла для различных случаев прокатки. В ходе проведения моделирования были для всех рассмотренных случаев определены зависимости интенсивностей деформаций и эффективной деформаций от коэффициента асимметрии (рис. 2, 3).

Анализ напряженно-деформированного состояния показал, что наибольшие значения эффективной деформации наблюдаются в 5 и 6 случаях соответственно (при асимметричной прокатке круглой заготовки, при которой каждый валок имеет индивидуальную скорость ($v_2 > v_3 > v_4 > v_1$) и при асимметричной прокатке круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($v_3 > v_1 > v_2 = v_4$ – неприводные валки)). Поэтому в этих случаях будет наблюдаться большее измельчение зерен в деформируемом металле. В дальнейшем планируется провести более глубокие исследования.

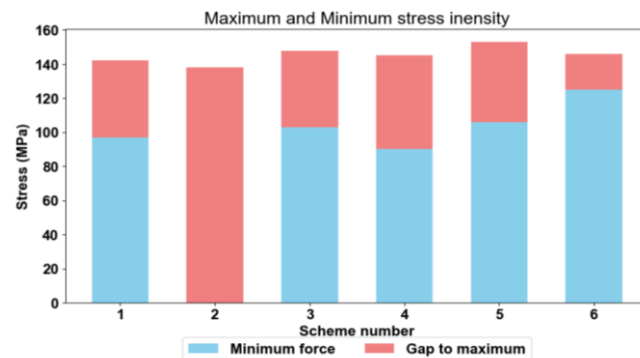


Рис. 2. Распределение максимальных и минимальных значений интенсивности напряжений для случаев симметричной и асимметричной прокатки:

- 1 – асимметричная прокатка круглой заготовки ($v_1 > v_2$);
- 2 – симметричная прокатка круглой заготовки ($v_1 = v_2 = v_3 = v_4$);
- 3 – симметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей ($v_1 = v_3 > v_2 = v_4$);
- 4 – асимметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($v_1 = v_4 > v_2 = v_3$);
- 5 – асимметричная прокатка круглой заготовки, при которой каждый валок имеет индивидуальную скорость ($v_4 > v_3 > v_2 > v_1$);
- 6 – симметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей ($(v_1 = v_3) > (v_2 = v_4$ – неприводные валки) и асимметричная прокатка круглой заготовки относительно двух плоскостей с одним коэффициентом асимметрии ($v_3 > v_1 > v_2 = v_4$ – неприводные валки)

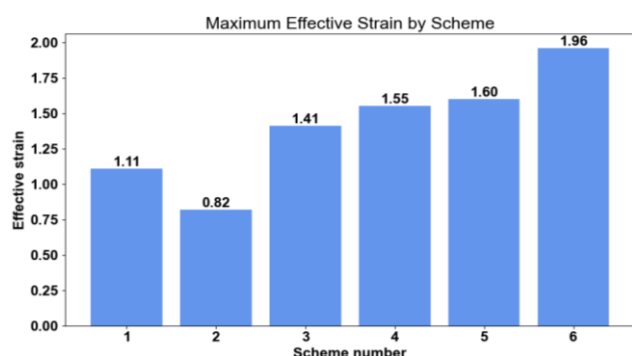


Рис. 3. Распределение значений эффективной деформации для случаев симметричной и асимметричной прокатки

Анализ энергосиловых параметров для различных случаев прокатки. В ходе проведения моделирования для различных случаев симметричной и асимметричной прокатки определены максимальные и минимальные усилия прокатки и крутящие моменты на валках. С увеличением коэффициента асимметрии наблюдается снижение усилий прокатки (рис. 4, 5).

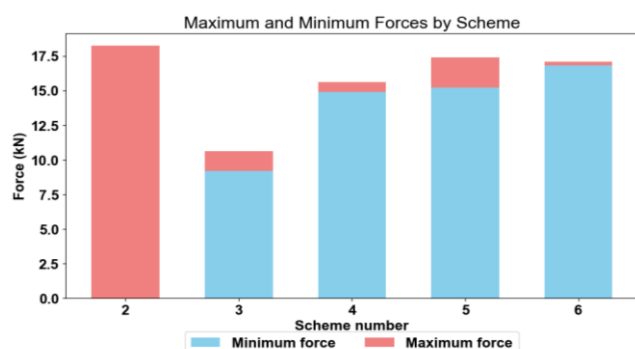


Рис. 4. Распределение максимальных и минимальных значений усилий прокатки для случаев симметричной и асимметричной прокатки

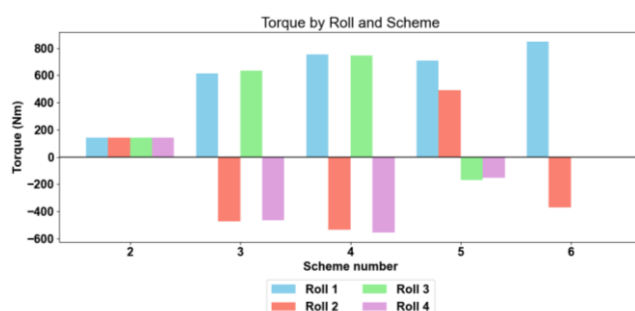


Рис. 5. Распределение значений крутящих моментов на валках для случаев симметричной и асимметричной прокатки

В данной работе проведено моделирование процесса прокатки круглого профиля в двухвалковой клетки и клетки с четырехвалковым калибром

при различных схемах распределения скоростей валков: для случаев симметричной и асимметричной прокатки.

Установлено, что для всех вариантов асимметричной прокатки наблюдается снижение усилий прокатки с увеличением коэффициента асимметрии. Увеличение крутящих моментов на валках с большей скоростью прокатки находятся в пределах допустимых значений.

Установлено, что максимальные значения эффективной деформации достигаются при реализации способа асимметричной прокатки круглой заготовки относительно двух плоскостей с использованием неприводных валков, что требует проведения дальнейших исследований.

Полученные результаты позволяют предположить, что выбор схемы асимметрии оказывает значимое влияние на потенциальную микроструктуру готового изделия, что подтверждается увеличением значений эффективной деформации. Это открывает возможности дальнейших исследований с акцентом на физические эксперименты и оптимизацию режимов для конкретных сплавов.

Результаты исследования доказывают эффективность использования асимметричной прокатки в четырехвалковом калибре по сравнению с симметричной. В дальнейшем планируется использование данных моделирования для проектирования прокатного стана с многовалковыми калибрами.

Список литературы

1. Pustovoytov D., Pesin A., Tandon P. Asymmetric (hot, warm, cold, cryo) rolling of light alloys: a review // Metals. 2021. Vol. 11, Iss. 6. 956. DOI: 10.3390/met11060956
2. Пустовойтов Д.О. Исследование формирования мелкозернистой структуры при асимметричной горячей прокатке низкоуглеродистых сталей // Черные металлы. 2025. № 1. С. 49-56. DOI: 10.17580/chm.2025.01.09
3. Поляков М.Г., Никифоров Б.А., Гун Г.С. Деформация металла в многовалковых калибрах. М.: Металлургия, 1979. 240 с.
4. Песин А.М., Салганик В.М., Куранов К.Ю. Плоские стальные ленты: монография. Магнитогорск: МГТУ, 2004 157 с.
5. Скоростная асимметрия при холодной прокатке круглой заготовки в цилиндрических валках / Харитонов В.А., Усанов М.Ю., Локотунина Н.М., Песин И.А., Мелихов Е.Д. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №4. С. 89-97. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-4-89-97>.
6. Исследование асимметричных случаев прокатки в четырехвалковых калибрах / В.Л. Стеблянок, В.А. Ткаченко, В.А. Мамкин, А.М. Поляков // Обработка металлов давлением: межвузовский сборник. Вып. 5 Свердловск: Изд-во УПИ им. С.М. Кирова, 1978 С. 70-77.

7. Пат. 2528601 RU, МПК В21В 1/00. Способ асимметричной прокатки металла / А.М. Песин, А.П. Ткаченко, Д.О. Пустовойтов, Н.М. Локотунина, Н.А. Горкин, М.А. Бирюков. № 2013111897/02. Заявл. 15.03.2013; опубл. 20.09.2014.
8. Пат. 2531337 RU, МПК В21В 1/00. Способ асимметричной прокатки металла / А.М. Песин, А.П. Ткаченко, Д.О. Пустовойтов, Н.М. Локотунина, М.А. Бирюков, Н.А. Горкин. № 2013111708/02. Заявл. 15.03.2013; опубл. 20.10.2014.

Сведения об авторах

Харитонов Вениамин Александрович – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: hva-46@yandex.ru. ORCID 0000-0003-3487-7110

Песин Александр Моисеевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: pesin@bk.ru. ORCID 0000-0002-5443-423X

Локотунина Наталья Михайловна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий обработки материалов, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: nml76@mail.ru. ORCID 0000-0002-9917-5550

Лукьянов Егор Дмитриевич – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: edlukyanov@png8.ru

Песин Илья Александрович – кандидат технических наук, начальник технического отдела НИС НИЛ МГНМ ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ilya33392@bk.ru. ORCID 0000-0002-5866-8308

Бирюков Максим Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 669.162.12

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОЙ ШИХТЫ, ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ

Смирнов А.Н., Зинченко С.С.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В связи с пуском двенадцатой коксовой батареи КХП ПАО «ММК» представляет интерес исследование показателей качества шихты, в частности толщины пластического слоя (Y), получаемой экспериментальным и расчетным путем. Известно, что на практике чаще всего используют аддитивный подход, когда толщина пластического слоя смеси определяется на основе долевого участия и пластометрических показателей шихтокомпонентов. В работе была использована аддитивная модель для определения расчетных значений основного пластометрического показателя – величины пластического слоя (Y) угольной шихты, в состав которой входило от трех до пяти компонентов. Приводится сравнение данных экспериментальных и расчетных значений Y . Установлено, что в интервале используемых на практике значений долевого участия шихтокомпонентов, аддитивный подход позволяет определять « Y » с доверительной вероятностью 95%. Полученные результаты были верифицированы для компонентов шихты КХП ПАО «ММК».

Ключевые слова: кокс доменный, пластометрические показатели, спекание, шихтокомпоненты, шихта для коксования, аддитивная модель

Введение

Несмотря на то, что для оценки качества углей используется целый ряд показателей (зольность, выход летучих, показатель отражения витринита, содержание серы, минеральных веществ, и др.), определяющей технологической характеристикой углей как сырья для коксования является их способность к спеканию. Все коксующиеся угли обязательно спекаются, однако не все спекающиеся угли дают кокс, по качеству соответствующий доменному [1]. Основным свойством коксующихся углей является их способность переходить в пластическое состояние [2], характеристиками которого являются величина пластического слоя Y , мм, пластометрическая усадка X , мм, вид пластометрической кривой; характеристика коксового королька [3], температурный интервал пластичности Δt , °C.

Угольная база России представляет большой интерес для коксохимического производства. Анализ сырьевой базы угольной промышленности [4], проведенный исследователями в области геологии, показал, что доля высокоценных углей коксообразующей группы – коксовых жирных (КЖ), коксовых (К), коксовых отощенных (КО) – незначительна как в промышленных запасах каменных углей (5,2%), так и в добыче (5,4%). Доля технологических марок – коксовый слабоспекающийся

(КС), отощенный спекающийся (ОС), используемых в качестве отошающих добавок в шихте, направляемой на коксование, в промышленных запасах каменных углей составляет 5,3%, а в добыче – 7,6%. При этом сырьевое обеспечение действующего фонда угледобывающих предприятий свидетельствует о высокой интенсивности отработки запасов средне- и высокометаморфизованных углей. Дисбаланс между объемом запасом и добычи углей, ценных для коксохимических предприятий, создает предпосылки корректировки состава угольных шихт, применяемых для получения доменного кокса.

Шихта коксохимического предприятия КХП ПАО «ММК» по актуальным данным состоит из пяти компонентов. В шихту входят: угли газово-жирные, жирные, шахтогруппа коксовых слабоспекающихся и коксовых отощенных, отощенные спекающиеся и особо ценные коксовые угли. Угольные шихты в пластическом состоянии характеризуются в основном следующими показателями: индексом вспучивания (ИГИ–ДМетИ) 12–39 мм; толщиной пластического слоя 14–17 мм; индексом Рога (RI) 50–65 [5]. Пластометрический метод разработан в 1932 г. Л.М. Сапожниковым и Л.П. Базилевич, и после его стандартизации в 1941 г. получил широкое применение не только в России, но и других странах [5, 6].

Соотношение в шихте углей отдельных технологических групп определяется как их ресурсами, так и свойствами [7, 8]. В 2024 г. на КХП

ПАО «ММК» были использованы несколько вариантов угольных шихт для коксования с повышенным содержанием угольных компонентов марок ГЖ, КО и КС для снижения заготовительной стоимости шихты при сохранении необходимого качества производимого кокса. Известно, что на практике при определении свойств угольной шихты чаще всего используют аддитивный подход [9, 10]. В работе [11] приводятся данные о том, что давление расpiration углей сырьевой базы ПАО «Кокс» подчиняется закону аддитивности. Это означает, что угли практически не взаимодействуют друг с другом и стадии разложения и коксования каждого угля в шихте находится в том же диапазоне температур, что и чистых углей. Полагая, что толщина пластического слоя шихты Y – величина, близкая к аддитивной, для ее расчета была использована формула

$$Y = \sum_{i=1}^n b_i Y_i, \quad (1)$$

где b_i – долевое участие; Y_i – толщина пластического слоя соответствующего шихтокомпонента.

Нами были проведены экспериментальные определения толщины пластического слоя как отдельных компонентов, так шихты, при разном долевом участии этих компонентов в шихте. Анализ полученных результатов свидетельствует об адекватности аддитивной модели.

Методика исследования

Определение пластометрических параметров отдельных шихтокомпонент и шихты – толщину пластического слоя Y , пластометрическую усадку X , мм, вид пластометрической кривой, характеристику коксового королька, температурный интервал пластичности Δt , °С – проводили на аппарате Л.М. Сапожникова (рис. 1) согласно ГОСТ 1186-2014 «Метод определения пластометрических показателей».

Сущность метода определения толщины пластического слоя заключается в медленном (по заданному графику нагреванию, по заданным давлению

навески угля, загруженным определенным способом в пластометрический стакан и определении в процессе и по окончании нагрева:

- толщины пластического слоя угля – максимального расстояния между поверхностями раздела уголь – пластическая масса – полукокс;

- величины пластометрической усадки угля – конечного изменения высоты угольной загрузки по окончании испытания;

- вида пластометрической кривой – кривой, выражающей изменения угольной загрузки в зависимости от времени нагрева (от температуры). Пластометрическая кривая является качественным показателем, однако ее вид относится к характерным признакам конкретного угля.

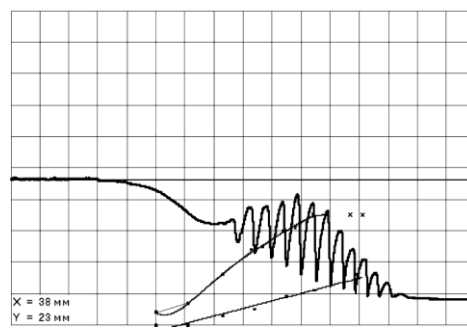
Результаты и их обсуждение

Для проверки адекватности аддитивной модели в качестве коэффициентов b_i (1) мы использовали значения долевого участия соответствующих шихтокомпонентов, для угольной шихты 9-й бис-батареи и 12-й батарей КХП ПАО «ММК» (рис. 2). Состав шихты 12-й батареи варьировался от трехкомпонентного в начале года (базовые компоненты – марка Ж, ГЖ, шихтогруппа КС, КО), до четырех-пяти компонентов в последующие месяцы. Долевое участие соответствующих шихтокомпонентов составляло, %: Ж – 13,4–43,5; ГЖ – 0–36,6; КС, КО – 32,1–50; ОС – 0–17,6; К – 0–9,9. В то же время за аналогичный период состав угольной шихты на 9-й бис-батареи, где, как и на 12-й, сухое тушение кокса, изменялся незначительно.

Экспериментальные и рассчитанные согласно формуле (1) значения толщины пластического слоя представлены в таблице: $\bar{Y}_i$ (эксп.) соответствует среднему значению для каждого компонента шихты (i) по результатам трех определений, а $\bar{Y}_{\text{эксп.}}$ – среднему значению экспериментально определенной толщины пластического слоя шихты, составленной при долевом участии указанных выше компонентов.



а



б

Рис. 1. Автоматизированный аппарат Сапожникова (а) и типичный вид пластометрической кривой (б)

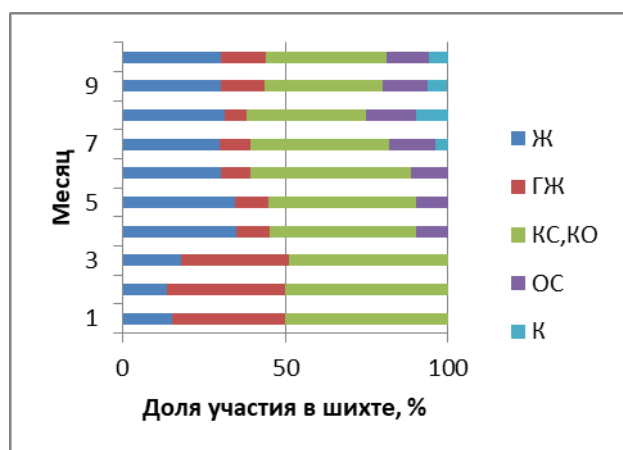
Экспериментальные и расчетные данные параметров пластического состояния шихтокомпонентов и угольной шихты

Шихтокомпонент*	Ж	ГЖ	КС, КО	ОС	К
$\bar{Y}_i$ (эксп.), мм	26	21	14	7	17
Среднее экспериментальное ($\bar{Y}_{\text{эксп.}}$) и расчетное ($\bar{Y}_{\text{расч.}}$) значение толщины пластического слоя шихты, интервал возможных значений толщины пластического слоя шихты для вероятности $P = 0,95$ ($Y = \bar{Y}_{\text{эксп}} \pm \Delta Y$)					
$\bar{Y}_{\text{эксп.}}$, мм	$\bar{Y}_{\text{расч.}}$ мм		$Y = \bar{Y}_{\text{эксп}} \pm \Delta Y$ мм		
17,94	17,91		17,94 ±0,28		
Усредненные показатели толщины пластического слоя соответствующих шихтокомпонент ($\bar{Y}_1$, мм), КХП ПАО «ММК»					
Шихтокомпонент*	Ж	ГЖ	КС, КО	ОС	К
$\bar{Y}_i$, мм	30	21	9	11	14
Среднее расчетное значение толщины пластического слоя шихты ($\bar{Y}_{\text{расч.}}$) и интервал возможных значений толщины пластического слоя шихты для вероятности $P = 0,95$ ($Y = \bar{Y}_{\text{расч}} \pm \Delta Y$)					
Батарея	$\bar{Y}_{\text{расч.}}$ мм		$Y = \bar{Y}_{\text{расч}} \pm \Delta Y$		
9	18,02		18,02 ±0,28		
12	17,48		17,48 ±0,23		

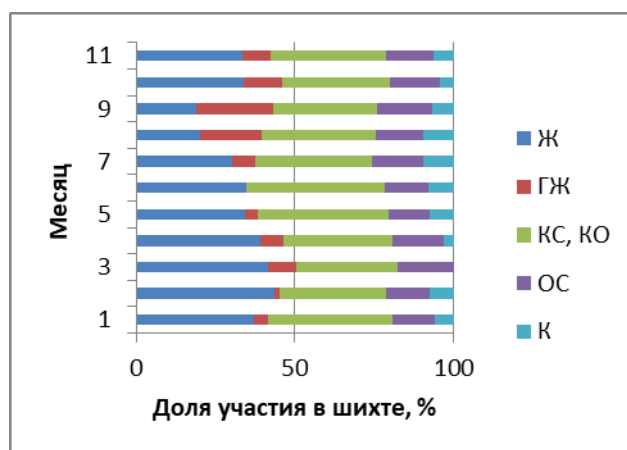
*Показатели толщины пластического слоя шихтокомпонент определены для концентратов, поставляемых различными поставщиками.

За период десяти месяцев на 12-ю батарею направлялась шихта с составом, изменяющимся в следующих пределах: доля участия жирных углей изменялась от 13,4 до 35%, доля участия газовых жирных углей была в пределах от 6,8 до 36,6%, доля участия в шихте шахтогруппы, состоящей из коксовых слабоспекающихся и коксовых отощенных компонентов, изменялась в пределах от 36,1 до 50%, отощенные спекающиеся угли – от 0 до 15,1%, особо ценная коксовая марка углей добавлялась в шихту в пределах от 0 до 9,9% (рис. 2, а).

Согласно анализируемым данным, состав угольной шихты 9-й коксовой батареи за весь период изменялся за исследуемый период незначительно. Доля участия в шихте жирных углей изменялась от 19 до 43,5%, доля участия газовых жирных углей изменялась в пределах 0-24,2%, шахтогруппа из коксовых слабоспекающихся и коксовых отощенных углей добавлялась в шихту в количестве от 32,1 до 43,8%, доля отощенных спекающихся углей за весь период менялась незначительно – от 13,1 до 17,6%, Доля коксовых углей изменялась в пределах от 0 до 9,7% (рис. 2, б).



а



б

Рис. 2. Состав угольной шихты коксовой батареи № 12 (а) и коксовой батареи № 9 (б) КХП ПАО «ММК»

В качестве параметра, характеризующего качество шихты, был выбран показатель толщины пластического слоя. Известно, что для получения металлургического кокса высокой механической прочности необходимо иметь шихту с пластическим слоем не менее 17 мм. В производственных условиях для прогноза этого пластометрического показателя руководствуются правилом смесей (правилом аддитивности).

Расчет производят по формуле (1):

$$Y = b_1 Y_1 + b_2 Y_2 + \dots + b_i Y_i, \quad (2)$$

где b_i – долевое участие шихтокомпонента; Y_i – толщина пластического слоя шихтокомпонента.

В таблице и рис. 3 приведены экспериментальные и расчетные значения толщины пластического слоя рассмотренных угольных шихт. Данные, указанные в таблице, иллюстрируют тот факт, что используя аддитивный подход в определении толщины пластического слоя соответствующей шихты Y как суммы толщин пластического слоя шихтокомпонентов Y_i с учетом их долевого участия, соответствуют экспериментально определяемым значениям этого параметра с доверительной вероятностью 95%. Используя аддитивный принцип расчета толщины пластического слоя шихты, были выполнены расчеты этого же параметра для 9-й бис-батареи и 12-й батарей КХП ПАО «ММК» (см. таблицу). Долевое участие шихтокомпонентов в шихте было тем же, а усредненные показатели толщины пластического слоя соответствующих шихтокомпонент приведены в таблице. Расчетные значения толщины пластического слоя для 9-й и 12-й батарей укладываются в экспериментально определенный интервал значений Y .

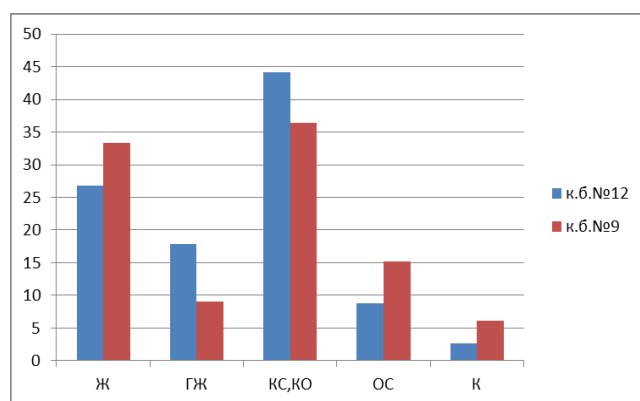


Рис. 3. Долевое участие базовых компонентов в шихтах коксовых батарей №12 и №9 бис

Таким образом, аддитивный принцип расчета толщины пластического слоя позволяет определить с вероятностью 95% исследуемый показатель

в пределах долевого участия шихтокомпонентов, %: Ж – 13,4–43,5; ГЖ – 0–36,6; КС, КО – 32,1–50; ОС – 0–17,6; К – 0–9,9.

Мы полагаем, что сокращение долевого участия особо ценных коксующихся угольных концентратов в шихте за счет увеличения доли жирных углей, а также углей шихтокомпонент КС, КО в указанных пределах позволяет достигать значения толщины пластического слоя не менее 17 мм.

Выводы

1. Экспериментальные результаты показывают, что при использовании шихт с интервалами долевого участия шихтокомпонентов, %: Ж – 13,4–43,5; ГЖ – 0–36,6; КС, КО – 32,1–50; ОС – 0–17,6; К – 0–9,9 возможно получение шихты с показателем толщины пластического слоя более 17 мм.

2. Установлена адекватность аддитивной модели определения толщины пластического слоя для шихт КХП ПАО «ММК» в заданных пределах долевого участия шихтокомпонентов.

Список источников

1. Díez M. A., Alvarez R., Barriocanal C. Coal for metallurgical coke production: predictions of coke quality and future requirements for cokemaking // International Journal of Coal Geology 2002. Vol. 50. P. 389–412. [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(02\)00123-4](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(02)00123-4)
2. Chena Y., Leea S., Tahmasebia A. et al. A review of the state-of-the-art research on carbon structure evolution during the coking process: From plastic layer chemistry to 3D carbon structure establishment // Fuel. 2020. Vol. 271. 117657. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117657>
3. Влияние марочной структуры угля на выход и характеристику продуктов полукоксования / А.Н. Смирнов, С.А. Крылова, В.И. Сысоев [и др.] // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2020. Т. 11, № 1. С. 37–41. EDN NUMHER.
4. Развитие сырьевой базы угольной промышленности России / В.И. Клишин, Т.Б. Рогова, С.В. Шапкин, М.В. Писаренко // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2020. № 4. С. 512–521. EDN OBOFDL.
5. Смирнов А.Н., Алексеев Д.И. Математическое моделирование химико-технологических процессов. Ч. 1. Новотроицк: Национальный исследовательский технологический университет "МИСиС", 2022. 108 с. ISBN 978-5-903472-39-0. EDN XYKLKF.
6. Соснова Е.Б., Полторацкая Е.А. Взаимосвязь международных и отечественных показателей оценки спекаемости углей // Кокс и химия. 2010. № 12. С. 12–15. EDN NBGOUZ.
7. Сухоруков В.И., Кауфман А.А., Харлампович Г.Д. Технология коксохимического производства. // Кокс и химия. 2006. № 10. С. 44–45. EDN HVFWWH.
8. Оценка технологической ценности угольных концентратов методом проведения серийных коксований /

- Е.Н. Степанов, И.И. Мельников, О.А. Буланович [и др.] // Кокс и химия. 2021. № 12. С. 5-9. DOI: 10.52351/00232815_2021_12_5. EDN HDZZCH.
9. Смирнов А.Н., Алексеев Д.И. Сопоставление и анализ адекватности математических моделей для прогнозирования показателей качества кокса М25 и М10 // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2017. Т. 15, № 3. С. 62-67. DOI: 10.18503/1995-2732-2017-15-3-62-67. EDN ZGRUZV.
10. North L., Blackmore K., Nesbitt K., Mahoney M. R. Models of coke quality prediction and the relationships to input variables: A review. // Fuel. 2018. Vol. 219. P. 446– 466. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.01.062>
11. Красулин Н.А. Исследование давления распирающих трамбованных шихт // Россия молодая: сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кемерово, 18–21 апреля 2023 года. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2023. С. 73601.1-73601.8. EDN PHKJBS.

Сведения об авторах

Смирнов Андрей Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sman@magtu.ru. ORCID 0000-0002-7399-9586

Зинченко Светлана Сергеевна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: zinchenko.svetlana.00@gmail.com.

УДК 53.096

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ФОТОПОЛИМЕРА ДЛЯ ЛИТЬЯ ПО ВЫЖИГАЕМЫМ МОДЕЛЯМ

Струкова В.И., Каменских А.А., Носов Ю.О., Пустовалов Д.О.

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь

Аннотация. В рамках предиктивной аналитики технологического процесса литья по выжигаемым фотополимерным моделям требуется построение и реализация численных алгоритмов, связанных с моделированием поведения материалов и прототипов. В данной работе выполнена идентификация материальных констант фотополимерной смолы после отверждения в рамках модели Максвелла, построенной с использованием рядов Pronu. Выполнено имитационное моделирование эксперимента на DMA-анализ. Установлено, что в диапазон нагрева от комнатной температуры до 100°C попадает температура стеклования материала, что требует поиска двух наборов материальных констант до и после температуры стеклования для минимизации погрешности модели.

Ключевые слова: литье, выжигаемая модель, фотополимерная смола, математическое моделирование, ряды Pronu

Аддитивные технологии, связанные с постепенным послойным выращиванием сложных трехмерных структур, получили широкое развитие за последнее десятилетие. Они используются для создания сложных геометрических дизайнов [1], применяемых в биомедицине, формирования уникальных электродов для электроэрозионной промышленности [2], печати специализированных мембран [3] и строительных бетонов [4] и т.д. Проектные изыскания в области машиностроения, авиации, судостроения, автомобилестроения и аэрокосмической промышленности для рационализации, оптимизации и изменения геометрических конфигураций деталей, полученных методом литья, являются дорогостоящим процессом при классическом подходе [5]. Данный факт связан с необходимостью создания специализированной твердой оснастки или пресс-форм, что при обработке всех изменений и технологического процесса является очень затратным с временной и экономической точки зрения.

Для быстрого прототипирования технологического процесса применяются аддитивные технологии, например литье по выжигаемым [6] или выплавляемым [7] моделям. Технологии во многом схожи и базируются на построении полимерного прототипа изделия с учетом особенностей термического поведения материала в процессе выжигания/выплавления. Для 3D-печати выплавляемых моделей используются порошки полистирола. Выжигаемые модели печатаются из фотополимерных смол. Качество итогового изделия во

многом зависит от качества фотополимерной или полистирольной модели, которая повторяет геометрию будущей отливки, материала прототипа, технологии ее получения и удаления из литейной формы [8]. Для прогнозирования технологического процесса, минимизации отклонений от требуемого качества и выбраковки прототипов требуется построение численных аналогов поведения материалов и этапов технологического процесса.

В данной работе рассматривается возможность моделирования поведения фотополимерных смол, пригодных в той или иной мере для создания изделий в рамках литья по выжигаемым моделям. Упрощенная схема технологического процесса представлена на рис. 1.

Технологический процесс условно можно разделить на шесть этапов. Свойства фотополимерных смол оказывают влияние на качество поверхности литого изделия на I-IV этапах. На IV этапе происходит выжигание фотополимерной модели для получения литейной формы, данный этап наиболее подвержен влиянию термомеханических свойств фотополимера. Исследователями отмечаются большие деформации фотополимерного материала в процессе выжигания, образование микро- и макротрещин, а также частичное и полное разрушение литейной формы [9]. Дефекты и различные явления могут проявиться в течение всего жизненного цикла фотополимерного материала (рис. 2). Термическая усадка/расширение, разрывы, отрывы, разломы, расслоение слоев, прогиб и/или растрескивание стенок может проявляться при аддитивном выращивании модели изделия с использованием полимеризации (пере-

ход из жидкой в твердую фазу) фотополимерной смолы с использованием УФ-излучения в специальном принтере, работающем по методам печати Stereolithography (SLA) или Digital Light Processing (DLP). При выжигании фотополимерной модели может наблюдаться неконтролируемое расширение или коробление прототипа, а также выделение газов. Данные явления могут приводить к выбраковке литейных форм. Для прогнозирования поведения материалов и рационализации этапов технологических процессов требуется создание численных моделей.

В данной работе рассмотрено математическое моделирование поведения фотополимерного материала Envisiontec SI500 (EnvisionTec Inc., Ferndale, Michigan) после отверждения. Модель строится на экспериментальных данных, представленных в открытых источниках [10]. Моделирование поведе-

ния фотополимерной смолы после отверждения относится к этапу идентификации модели материала согласно укрупненной схеме моделирования технологического процесса (рис. 3).

Для описания поведения материала используются классическая вязкоупругая модель Максвелла, построенная с использованием линейных пружин и амортизаторов [11]. Для построения уравнений максвелловского типа используются ряды Prony и пользовательская процедура численной идентификации [12]. В рамках исследования выполнена имитация экспериментов на DMA-анализ [10] (рис. 4). Результаты имитационного моделирования используются в рамках алгоритма итерационного подбора параметров вязкоупругой модели поведения фотополимера и представляют собой осциллированное нагружение цилиндрических образцов с измерением уровня деформации.

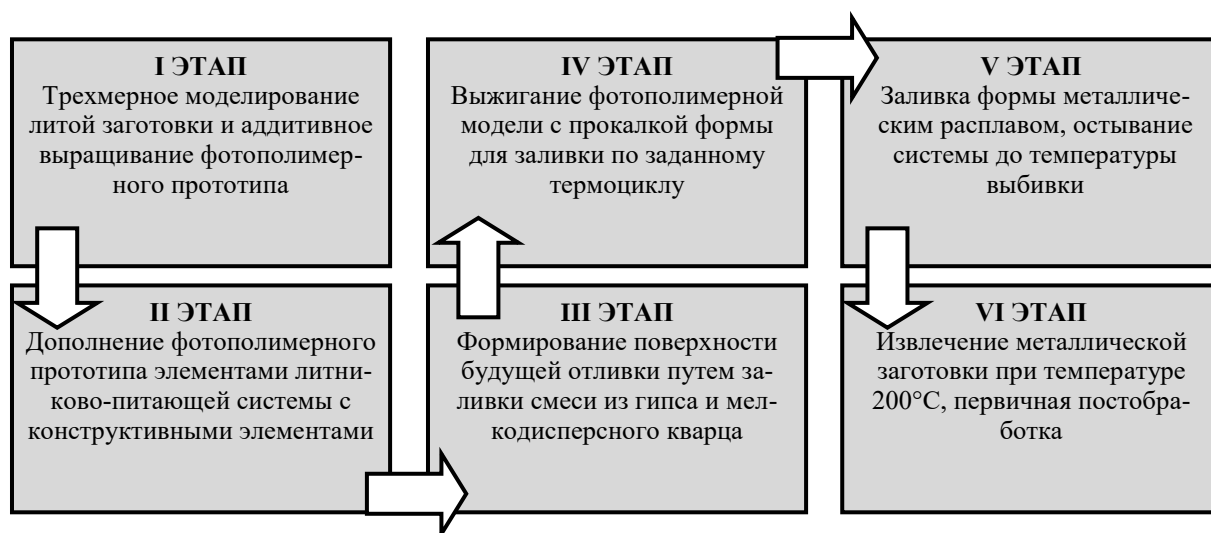


Рис. 1. Упрощенная схема литья по выжигаемым моделям

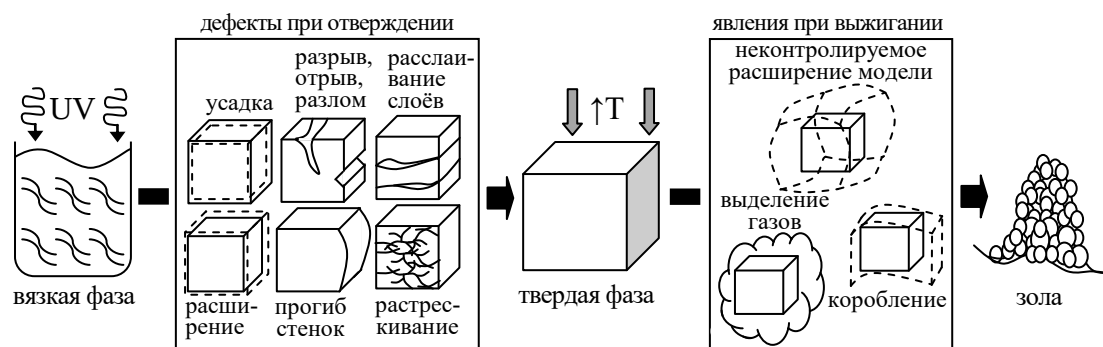


Рис. 2. Жизненный цикл фотополимерного материала при технологическом процессе литья по выжигаемым моделям



Рис. 3. Моделирование технологического процесса

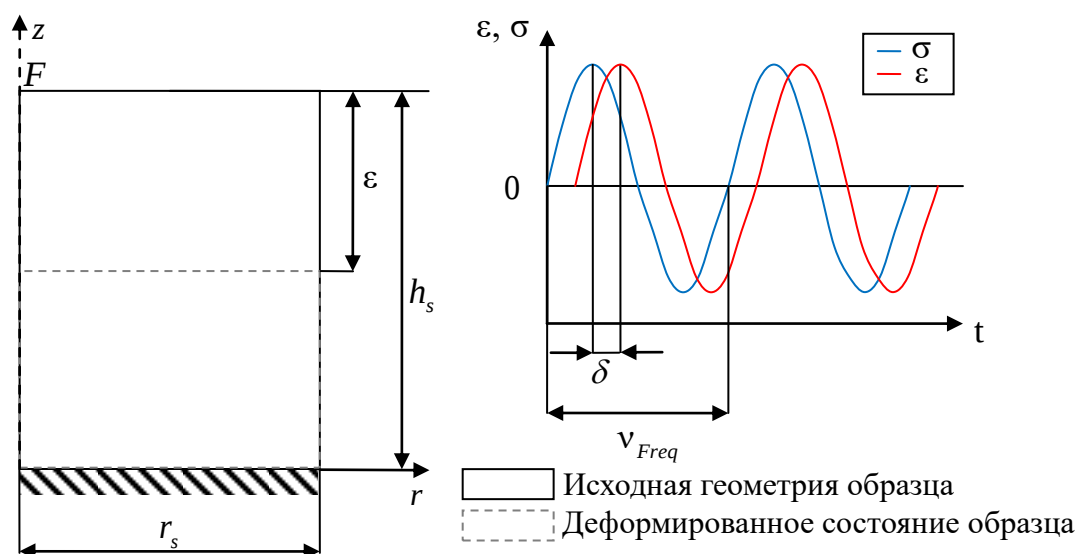


Рис. 4. Имитационное моделирование эксперимента на DMA-анализ

В результате построена модель поведения материала, которая включает 40 пар экспонент, связывающих время релаксации и коэффициенты сдвигового модуля, а также температуру стеклования и фотоупругие постоянные материала. Зависимости модуля свободного сжатия и модуля сдвига от температуры представлены на рис. 5.

Температура стеклования фотополимерного материала, найденная в рамках процедуры численной идентификации, составила 35,3°C. Но согласно данным открытых источников температура стеклования может быть до 61°C [10, 13]. Температура стеклования может быть введена в модель как константа.

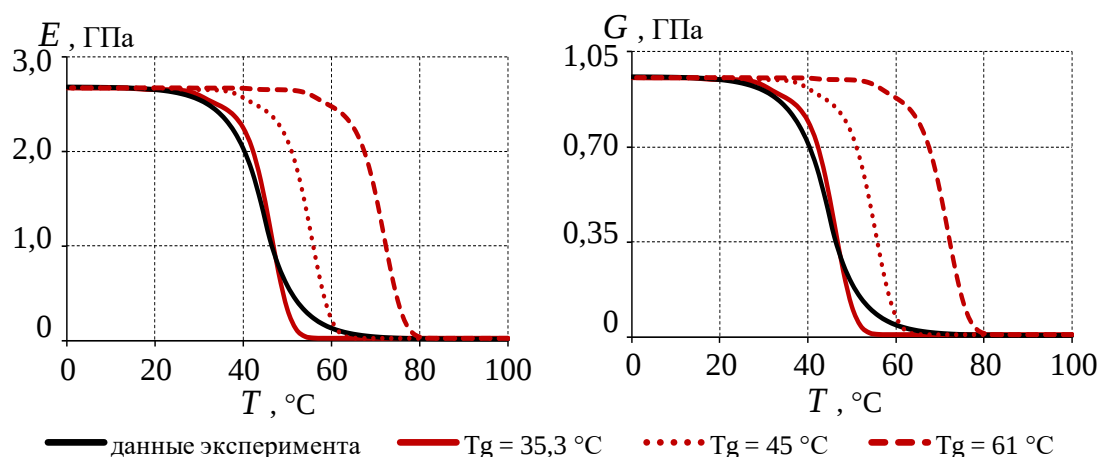


Рис. 5. Зависимость свойств Envisiontec SI500 от T

Выполнена оценка результатов процедуры численной идентификации на основе анализа поведения материалов в сравнении с данными открытых источников. Установлено, что вязкоупругая модель Максвелла на основе рядов Prony с представленными параметрами вектора неизвестных и константами подходит для описания поведения материала до температуры стеклования (погрешность менее 5%). После температуры стеклования определенные константы не позволяют выполнить точное описание поведения материала (погрешность до 35%). Требуется определение второго набора параметров ряда Prony для корректного описания материала при температурах больше температуры стеклования [14]. Это является дальнейшим развитием работы в части описания термомеханического поведения фотополимеров.

Список источников

1. Теплофизические аспекты обеспечения качества высокопористых имплантатов с ячеистой структурой, полученных методом селективного лазерного плавления / Килина П.Н., Сиротенко Л.Д., Козлов М.С., Дроздов А.А. // Российский журнал биомеханики. 2023. Т. 27, № 4. С. 200-211.
2. Jiang Y., Kong L., Yu J., Hua C., Zhao W. Experimental research on preparation and machining performance of porous electrode in electrical discharge machining // Journal of Mechanical Science and Technology. 2022. Vol. 36. P. 6201-6215. <https://doi.org/10.1007/s12206-022-1134-2>
3. Geng P., Jiang C. Direct Ink Writing 3D Printing Polytetrafluoroethylene/Polydimethylsiloxane Membrane with Anisotropic Surface Wettability and Its Application in Oil-Water Separation // Polymers. 2025. Vol. 17. Art. 174.
4. Bao T.M.P., Yeakleang M., Abdelouhab S., Courard L. Testing Mortars for 3D Printing: Correlation with Rheological Behavior // Materials. 2024. Vol. 17. Art. 5002.
5. Gao M., Li L., Wang Q., Ma Z., Li X., Liu Z. Integration of Additive Manufacturing in Casting: Advances, Challenges, and Prospects // International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology. 2022. Vol. 9. P. 305-322.
6. Shumkov A.A., Ablyaz T.R., Muratov K.R., Sidhu S.S. Prediction of the properties of photopolymer prototypes // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 862. Art. 022008.
7. Rosa A., Santoliquido O., Camerota F., Ghaderi R., Barcelli F., Ortona A. Highly complex ceramic cores for investment casting applications made possible by additive manufacturing // Open Ceramics. 2025. Vol. 21. Art. 100748.
8. Rodríguez-González P., Zapico P., Peláez-Peláez S., Castro-Sastre M.Á., Fernández-Abia A. Optimizing the Material Extrusion Process for Investment Casting Mould Production // Journal of Manufacturing and Materials Processing. 2024. Vol. 8(6). Art. 265.
9. О силовом влиянии опорного наполнителя и межслойного трения на напряженное состояние керамической оболочковой формы по выплавляемым моделям / Евстигнеев А.И., Евстигнеева А.А., Дмитриев Э.А., Иванкова Е.П., Одинокоев В.И., Чернышова Д.В. // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. 2023. № 1(55). С. 33-45.
10. Сметанников О.Ю., Самусев И.В. Экспериментальная идентификация параметров определяющих соотношений для фотополимерного композита // Механика композиционных материалов и конструкций. 2013. Т. 19, № 1. С. 105-116.
11. Lin C.Y. Rethinking and researching the physical meaning of the standard linear solid model in viscoelasticity // Mechanics of Advanced Materials and Structures. 2023. Vol. 31(11). P. 2370-2385.
12. Nosov Y.O., Kamenskikh A.A. Experimental study of the rheology of grease by the example of CIATIM-221 and identification of its behavior Model // Lubricants. 2023. Vol. 11. Art. 295.
13. Сметанников О.Ю., Ильиных Г.В. Исследование термомеханического поведения фотополимерных литевых прототипов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического

- университета. Прикладная математика и механика. 2014. № 1. С. 47-54.
14. Smetannikov O.Y., Sakhabutdinova L., Ilyinykh G. ANSYS Simulation of the Thermomechanical Behavior of a Large-Sized Composite Mandrel with Consideration of Viscoelasticity // Aerospace. 2022. Vol. 9. Art. 3.

Сведения об авторах

Струкова Вероника Ивановна – аспирант, младший научный сотрудник студенческого проектно-конструкторского бюро «Технологическая механика аддитивных и литейных процессов», передовая инженерная школа «Высшая школа авиационного двигателестроения», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. E-mail: veloiv_pstu@mail.ru. ORCID 0009-0004-6241-4388

Каменских Анна Александровна – доцент кафедры «Вычислительная математика, механика и биомеханика», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. E-mail: anna_kamenskih@mail.ru. ORCID 0000-0002-3012-2418

Носов Юрий Олегович – аспирант, научный сотрудник лаборатории цифрового инжиниринга машиностроительных процессов и производств, передовая инженерная школа «Высшая школа авиационного двигателестроения», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. E-mail: ura.4132@yandex.ru. ORCID 0000-0002-5736-8645

Пустовалов Дмитрий Олегович – начальник отдела «Учебный офис», передовая инженерная школа «Высшая школа авиационного двигателестроения», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь. E-mail: pustovalov.dmitrii@inbox.ru. ORCID 0000-0003-1700-9856

УДК 669.162.16

ОЦЕНКА ДРЕНАЖНОЙ СПОСОБНОСТИ ГОРНА ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ КРУПНОСТИ КОКСА

Юдина С.В., Харченко А.С., Сибгатуллин С.К., Свечникова Н.Ю., Юдин Д.В., Потапов И.М.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Исследовали влияние эквивалентной по поверхности крупности кокса на дренажную способность горна доменной печи объемом 1370 м³ по показателям: количество шлака, остающегося в горне после выпуска; подвижность шлака; показатель DMI; степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине. Увеличение эквивалентной крупности кокса на 3,3 отн.% улучшало условия дренажа жидких продуктов плавки через слой кокса в горне печи. Показатель DMI увеличился от 167 до 183, степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине уменьшилась от 97,3 до 96,4% и количество шлака, остающегося в горне после выпуска, уменьшилось от 18,0 до 17,8 т. Уменьшение эквивалентной крупности кокса на 3,2 отн.% ухудшало фильтрующую способность коксовой насадки в горне печи. Показатель DMI уменьшился от 164 до 157, степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине увеличилась от 97,4 до 97,8%. В результате в интервале эквивалентной по поверхности крупности кокса 51,8-56,0 мм изменение его величины на 1 мм сопровождалось изменением удельного расхода кокса в среднем на 2,3% с противоположенным знаком.

Ключевые слова: доменная печь, эквивалентная по поверхности крупность кокса, коксовая насадка, дренажная способность горна

Доменное производство совершенствуется в направлении снижения удельного расхода кокса и увеличения производительности печи [1-3]. Они зависят от множества факторов, одним из которых является дренажная способность коксовой насадки в горне печи [4-8].

Цель работы заключалась в исследовании роли эквивалентной по поверхности крупности кокса на дренажную способность горна доменной печи.

Исследовали две пары периодов, отличающиеся эквивалентной по поверхности крупностью кокса (табл. 1). В первой паре периодов эквивалентная по поверхности крупность кокса увеличивалась от 51,8 до 53,5 мм, во второй паре периодов – уменьшалась от 56,0 до 54,2 мм.

Повышение эквивалентной по поверхности крупности кокса в периоде II по сравнению с периодом I обусловлено увеличением содержания класса +60 мм. Для периодов I и II увеличение составило 38,4 отн.% для фракции +80 мм и 3,1% отн. для фракции 60-80 мм. Содержание кокса крупностью менее 60 мм уменьшилось в периоде II по сравнению с периодом I на 11,0 отн.% для фракции 60-40 мм и на 12,8 отн.% для фракции 40-25 мм (табл. 1).

Таблица 1

Показатели качества кокса, загружаемого в доменные печи и его ситовый состав

	Эквивалентная по поверхности крупность кокса, мм			
	51,8	53,5	56,0	54,2
Номер периода	I	II	III	IV
Длительность периода, неделя	28	28	21	21
Содержание (%) по классам крупности, мм:	>80	11,52	15,94	26,57
	80-60	38,66	39,84	36,10
	60-40	38,32	34,10	29,18
	40-25	8,78	7,66	6,07
Холодная прочность кокса по показателям, %:	M ₁₀	8,2	8,3	7,7
	M ₂₅	87,0	87,2	88,5
Горячая прочность кокса (CSR), %	44,6	44,5	30,8	31,2
Реакционная способность (CRI), %	35,4	35,4	42,1	42,1

Увеличение эквивалентной крупности кокса в периоде II по сравнению с периодом I на 3,3 отн.% обеспечивало улучшение дренажной способности горна по показателям «DMI», «степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине» и «количество шлака, остающегося в горне после выпуска».

Таблица 2

Показатели дренажной способности коксовой насадки в горне доменных печей

Наименование показателей	Эквивалентная по поверхности крупность кокса, мм			
	51,8	53,5	56,0	54,2
Количество шлака, остающегося в горне после выпуска, т	18,0	17,8	18,3	17,5
Подвижность шлака, Па·с	0,31	0,30	0,28	0,32
Показатель DMI	167	183	164	157
Степень приближения фактического содержания углерода в чугуне к равновесной величине, %	97,28	96,41	97,36	97,75

Согласно табл. 2, показатель DMI увеличился от 167 до 183, степень приближения фактического содержания углерода в чугуне к равновесной величине уменьшилась от 97,28 до 96,41%. Количество шлака, остающегося в горне после выпуска, уменьшилось от 18,0 до 17,8 т. Это обеспечивало уменьшение взаимного сопротивления потоков шихты и газа в нижней части печи в условиях увеличения дутьевых характеристик. Коэффициент сопротивления шихты движению газового потока в нижней части печи в периоде II по сравнению с периодом I уменьшился на 5,4 отн.% в условиях роста выхода фурменного газа на 0,63 отн.% (табл. 3) за счет увеличения расхода дутья на 0,65 % (табл. 4).

Таблица 3

Показатели газодинамического режима работы доменной печи

Наименование показателей	Эквивалентная по поверхности крупность кокса, мм			
	51,8	53,5	56,0	54,2
Коэффициент сопротивления шихты движению газов:				
– вверху шахты	0,184	0,203	4,738	4,923
– в нижней части заплечиков	14,410	14,309	10,677	10,797
– общий	9,243	9,200	7,708	8,051
Выход фурменного газа, м ³ /мин	3670	3693	3873	3891

Улучшение условий дренажной способности продуктов плавки через слой кокса, обусловленное повышением его эквивалентной крупности, обеспечивало уменьшение удельного расхода кокса. Приведенный к условиям базового периода I удельный расход кокса в периоде II уменьшился на 3,5 кг/т чугуна (табл. 4).

Таблица 4

Основные технико-экономические показатели работы доменных печей

Наименование показателей	Эквивалентная по поверхности крупность кокса, мм			
	51,8	53,5	56,0	54,2
Номер периода	I	II	III	IV
Удельный расход кокса (сухого, скипового), кг/т чугуна:				
– фактический	448,5	448,0	384,9	387,9
– приведенный к периоду №	448,5	445,0	384,9	389,5
		к п. I		к п. III
Производительность, т/сут:				
– по фактическому количеству загруженных подач	3572	3578	3694	3747
– приведенная к периоду №	3572	3595	3694	3677
		к п. I		к п. III
Интенсивность хода:				
– по дутью, м ³ /м ³ минуту	2,001	2,014	2,113	2,118
– по суммарному углероду	0,979	0,979	0,889	0,915
т/м ³ сут				
Рудная нагрузка, т/т	3,585	3,633	4,040	3,987
Содержание Fe в шихте, %	58,396	58,311	58,006	58,281
Вынос пыли, кг/т чугуна	9,1	10,6	16,6	27,1
Степень использования, %				
– CO	42,75	42,52	44,50	43,40
– H ₂	43,91	44,67	51,06	47,82
Расход:				
– дутья, м ³ /мин	2741	2759	2895	2902
– природного газа, тыс. м ³ /ч	17,8	17,8	19,4	19,1
Содержание кислорода, %	27,4	27,5	27,9	28,4
Уровень засыпи фактический, м	1,49	1,56	2,81	2,72
Содержание фракции 0-5 мм в агломерате, %	8,26	8,36	10,07	9,86

Повышение рудной нагрузки на периферии при уменьшении в осевой зоне колошника позволило увеличить выход фурменного газа от 3670 до 3693 м³/мин без осложнения схода шихтовых материалов (см. табл. 3). Увеличение интенсивности по дутью на 0,65 %, сопровождающееся повышением напряженности между потоками шихты и газа в верхней части печи, выраженную ростом коэффициента сопротивления в этой зоне на 3,4 отн. % обеспечило прирост производства на 23 т/сут.

Уменьшение эквивалентной по поверхности крупности кокса в периоде IV по сравнению с периодом III обусловлено увеличением содержания фракции +80 мм, которое составило 27,0 отн. % Содержание кокса по фракциям крупности 80-60, 60-40 и 40-25 в периоде IV по сравнению с периодом III уменьшилось соответственно на 6,6, 8,4 и 6,5 отн. % (см. табл. 1).

Уменьшение крупности кокса от 56,0 до 54,2 мм в условиях увеличения вязкости шлака от 0,28 до 0,32 Па·с сопровождалось ухудшением фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса. Показатель DMI уменьшился от 164 до 157, степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине увеличилась от 97,36 до 97,45%. Осложнение дренажа жидких продуктов плавки через слой кокса в горне печи в условиях сохранения интенсивности по дутью и некотором уменьшении расхода природного газа сопровождалось увеличением коэффициента сопротивления шихты в нижней части печи на 1,2%. В результате удельный расход кокса в периоде IV по сравнению с периодом III увеличился от 384,9 до 389,5 кг/т чугуна.

Повышение содержания кислорода в дутье от 27,9 до 28,4% и содержание железа в шихте от 58,006 до 58,281% обеспечило увеличение фактической производительности доменной печи на 53 т/сут в опытном периоде IV по сравнению с базовым периодом III. Однако производительность в периоде IV, приведенная к условиям базового периода III, уменьшилась на 17 т/сут, что является результатом ухудшения условий взаимного сопротивления потоков шихты и газа в результате самопроизвольного перераспределения кокса в колошниковом пространстве печи и излишнего раскрытия осевой зоны в условиях сохранения матрицы загрузки.

Таким образом, увеличение крупности кокса обеспечивало повышение условий фильтрации жидких продуктов плавки через слой кокса увеличенной крупности, что положительно действовало на удельный расход кокса. Уменьшение размеров кокса оказывало отрицательное воздействие на дренаж жидких продуктов плавки в горне печи с последующим увеличением удельного его расхода. В интервале крупности кокса 51,8-56,0 мм изменение его эквивалентной по поверхности величины на 1 мм сопровождалось изменением удельного расхода кокса в среднем на 2,3 % с противоположенным знаком.

Заключение

Исследовали влияние эквивалентной по поверхности крупности кокса на дренажную способность горна доменной печи по показателям:

- количество шлака, остающегося в горне после выпуска;
- подвижность шлака;

– показатель DMI;

– степень приближения фактического содержания углерода в чугуна к равновесной величине.

Улучшение условий дренажа жидких продуктов плавки через слой кокса в горне печи в результате увеличения эквивалентной крупности кокса на 3,3 отн.% обеспечивало уменьшение удельного расхода кокса на 3,5 кг/т чугуна.

Снижение фильтрующей способности коксовой насадки в горне печи в результате уменьшения эквивалентной крупности кокса на 3,2 отн.% сопровождалось увеличением удельного расхода кокса на 4,6 кг/т чугуна.

Список источников

1. Оценка качества кокса как компонента технологии доменной плавки / Д.А. Мучник, А.И. Трикило, В.П. Лялюк, Д.А. Кассим // Кокс и химия. 2018. № 1. С. 15-21.
2. Товаровский И.Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность // Сталь. 2014. № 5. С. 4-11.
3. Рациональные технологические решения при производстве чугуна в доменных печах ПАО «ММК» / А.С. Харченко, С.К. Сибгатуллин, А.В. Павлов, А.А. Полинов // Черные металлы. 2021. № 12. С. 10-15.
4. Исследование фильтруемости продуктов доменной плавки через коксовую насадку / А.Ю. Чернавин, В.А. Кобелев, Д.А. Чернавин, Г.А. Нечкин // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75, № 3. С. 315-322.
5. Нечкин Г.А., Кобелев В.А., Чернавин А.Ю. Формирование доменной шихты с целью улучшения фильтруемости расплава через коксовую насадку горна // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2014. № 9(1377). С. 23-27.
6. Влияние коксового орешка на фильтрацию жидких продуктов плавки в горне доменной печи / С.К. Сибгатуллин, А.С. Харченко, А.В. Чевычелов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 4(32). С. 28-30.
7. Информационно-моделирующая система контроля тепловых потерь в нижней части доменной печи / Н.А. Спирин, И.А. Гурин, В.В. Лавров [и др.] // Металлург. 2024. № 2. С. 71-75. DOI: 10.52351/00260827_2024_2_71.
8. Влияние крупности кокса на показатели работы доменной печи, оснащенной конусным загрузочным устройством, в условиях ПАО «ММК» / А.С. Харченко, А.В. Павлов, С.В. Юдина, С.К. Сибгатуллин // Черные металлы. 2023. № 12. DOI: 10.17580/chm.2023.12.04.

Сведения об авторах

Юдина Светлана Владимировна – аспирант, старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: yudinasv1478@mail.ru. ORCID 0000-0001-7505-9005

Харченко Александр Сергеевич – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: as.mgtu@mail.ru. ORCID 0000-0002-0454-6399

Сибагатуллин Салават Камирович – доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: 10tks@mail.ru. ORCID 0009-0004-0220-0126

Свечникова Наталья Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: natasha-svechnikova@yandex.ru. ORCID 0000-0001-9821-3183

Юдин Данил Владиславович – студент магистратуры, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: ydv2002@mail.ru

Потапов Иван Михайлович – студент бакалавриата, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: potapivan14@gmail.com

УДК 536.2.083:536.532

КОСВЕННЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ РАБОЧЕГО ПРОСТРАНСТВА ПРОТЯЖНОЙ ПЕЧИ АНГЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ УПРОЩЁННОЙ МОДЕЛИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ СТЕНКИ

Загвоздин А.Я., Рябчиков М.Ю.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В работе рассмотрен подход к оценке возможности организации косвенного контроля температуры в рабочем пространстве нагревательной печи для рекристаллизационного отжига стали. Косвенный контроль основан на применении многозонных термопар в стенке печи и упрощенной модели теплопроводности стенки. Подход основан на использовании подробной модели стенки и информации о существующих режимах термической обработки стали для определения выполнения требований к контролю, обусловленных применением упрощенной модели теплопроводности.

Ключевые слова: косвенный контроль температуры, упрощенная модель теплопроводности, многозонная термопара, отжиг стальной полосы, термическая обработка металла

Введение

В течение последнего десятилетия произошло существенное расширение сортамента продукции, производимой на агрегатах непрерывного горячего оцинкования. Были разработаны специализированные стали для автомобильной и строительной промышленности, а также целый ряд узкоспециализированных сталей, обладающих, например, повышенной коррозионной стойкостью при низких температурах [1]. Опыт разработки широкого спектра продукции с разными механическими свойствами способствует переходу на новые технологии производства стальной полосы, позволяющие управлять механическими свойствами продукции, обеспечивая их желаемое сочетание.

Одним из способов воздействия на механические свойства является варьирование режимов термической обработки стали при рекристаллизационном отжиге на агрегатах непрерывного горячего оцинкования (АНГЦ) и агрегатах непрерывного отжига (АНО). В ряде работ [1, 2] показано, что варьирование режимов отжига позволяет воздействовать на механические свойства. В то же время решение этой задачи может быть недостаточно эффективным в условиях неполноты информации о процессах, протекающих в металле при его движении через печь. На современных агрегатах АНГЦ и АНО температура поверхности металла контролируется только в нескольких точках, что дает неполное представление о динамике изменения температуры металла при его движении через печь. Другой проблемой являются сложности упреждающего управления термиче-

ской обработкой для обеспечения строго заданного режима отжига [3]. Сложности обусловлены тем, что температура рабочего пространства контролируется в отдельных точках. При этом на измерение значительное влияние оказывает статус работы расположенных рядом горелок (радиантных труб). Вследствие этого при изменении сортамента, когда через агрегат проходит сварной шов, режим термической обработки может быть нарушен, что приведет к отклонению механических свойств некоторой части продукции от требований.

Одним из направлений решения проблемы является оснащение печей новыми датчиками температуры рабочего пространства для получения возможности дальнейшей разработки и применения более совершенных моделей отжига стали, а также для возможности эффективного упреждающего управления отжигом и сужения пределов варьирования механических свойств.

Стенки современных печей для отжига стальной полосы имеют многослойную структуру. Между слоями стали расположено керамическое одеяло. Число слоев керамического одеяла может варьироваться и обычно составляет порядка пяти. Внутри рабочего пространства печи находится защитная атмосфера. С учетом этого размещение множества датчиков непосредственно внутри печи может быть нежелательным вследствие ограничений структурной целостности печи. Одним из способов модернизации существующих агрегатов является установка дополнительных термопар для контроля температур стальных кожухов между слоями керамического одеяла для последующего косвенного контроля температуры рабочего

пространства на основе решения обратной задачи теплопроводности.

Проблемы оперативного косвенного контроля

Одновременное решение задачи теплопроводности и обратной задачи теплопроводности для множества зон косвенного контроля может быть чрезвычайно затратным в вычислительном плане. Это затрудняет применение типовых программируемых логических контроллеров, управляющих технологическим процессом, при организации косвенного контроля.

Одним из путей решения этой проблемы является использование упрощенной модели теплопроводности стенки, предложенной в [5]. Идея применения упрощенной модели заключается во взаимосвязанном рассмотрении как минимум двух расположенных рядом интервалов по длине стенки, на границах которых измеряются температуры. Так, в случае двух интервалов требуется соответственно контроль трех температур T_1 , T_2 , T_3 . Тогда, согласно упрощенной модели [5] можно записать

$$\frac{dT_2(\tau)}{d\tau} = \frac{k_1}{L_{1-2}}(T_1(\tau) - T_2(\tau)) + \frac{k_1}{L_{2-3}}(T_3(\tau) - T_2(\tau)),$$

где L_{1-2} , L_{2-3} – расстояния между соответствующими точками; k_1 – настраиваемый параметр модели, характеризующий теплопроводность.

Для применения модели требуется решение задачи ее адаптации путем подбора k_1 . Это требует выполнения двух условий. Первым условием является верность допущения о близости распределений температуры на интервалах L_{1-2} , L_{2-3} к стационарным. Вторым условием является нестационарное распределение температур на всем интервале между первой и третьей точкой. Возникновение стационарных распределений температуры зависит не только от теплопроводности стенки, но и от температурного напора на внутренней поверхности стенки печи и, соответственно, от динамики изменения температуры внутренней поверхности стенки.

Другой проблемой косвенного контроля являются возможные погрешности контроля термопарами, обзор которых дан в [5]. Так, например, погрешность может быть обусловлена тем, что термопара измеряет усредненную температуру в некоторой области по длине наконечника, а также тем, что концы термопар расположены в неоднородном температурном поле.

Одним из возможных подходов к оценке возможности косвенного контроля с использованием упрощенной модели является предварительная разработка подробной модели стенки.

Подход к оценке возможности организации косвенного контроля

Предлагаемый подход к оценке возможности организации косвенного контроля предполагает несколько стадий расчетов.

Первой стадией является поиск стационарного установившегося распределения температур в стенке при заданном граничном условии в форме конвективного теплообмена на наружной поверхности стенки, а также при постоянной во времени типовой температуре поверхности на внутренней поверхности стенки.

Второй стадией является изучение переходных процессов по температуре стальных прослоек между слоями керамического одеяла. При этом в качестве начального распределения температур по толщине стенки принимаем стационарное распределение температур, полученное на первой стадии. Для получения переходного процесса задаем возмущение в виде изменения температуры внутренней поверхности стенки с заданной скоростью.

Третьей стадией является применение упрощенной модели для прогноза внутренней поверхности стенки по температурам стальных прослоек между слоями керамического одеяла внутри стенки при внесении систематической погрешности контроля. В результате третьей стадии определяются требования к точности контроля температуры исходя из скорости изменения температуры на внутренней поверхности стенки.

Список литературы

1. Разработка и освоение высококачественных экономичных автолистовых сталей нового поколения / И.Г. Родионова, В.А. Углов, А.И. Зайцев [и др.] // Сталь. 2016. № 1. С. 46-54. EDN WBBKIR.
2. Влияние параметров микроструктуры на механические свойства холоднокатаных микролегированных нибием сталей после непрерывного отжига / И.Г. Родионова, А.А. Павлов, Н.А. Арутюнян [и др.] // Металлург. 2023. № 4. С. 29-37. DOI 10.52351/00260827_2023_04_29. EDN CXSLIZ.
3. Рябчиков М.Ю., Рябчикова Е.С. Разработка модели для оптимизации управления термической обработкой стали при непрерывном горячем оцинковании // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2025. № 2(779). С. 60-81. EDN UCLCJJ.
4. Применение непрерывного неразрушающего контроля механических свойств оцинкованного листового проката для управления его качеством путем коррекции режимов отжига стали / М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова, В.С. Новак, Д.О. Сниткин // Контроль. Диагностика. 2025. Т. 28, № 4(322). С. 38-48. DOI 10.14489/td.2025.04.pp.038-048. EDN EDZIYL.
5. Определение теплофизических свойств материалов при косвенном контроле температуры граничащей

со стенкой среды / М.Ю. Рябчиков, Е.С. Рябчикова,
Е.Г. Нешпоренко [и др.] // Заводская лаборатория.
Диагностика материалов. 2025. Т. 91, № 1. С. 30-

43. DOI: 10.26896/1028-6861-2025-91-1-30-43. EDN
LISLIA.

Сведения об авторах

Загвоздин Андрей Яковлевич – студент кафедры автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: a.zagvozdin@mail.ru

Рябчиков Михаил Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автоматизированных систем управления, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mr_mgn@mail.ru. ORCID 0000-0001-5337-0951

УДК 004.036.5

УТЕЧКИ ПЕРСОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ – АКТУАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ УГРОЗА

Мазнин Д.Н.¹, Таныгина М.В.¹, Башкиров Д.И.²¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск²Проектная школа, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В условиях ускоренного цифрового развития проблема утечки персональной информации становится всё более актуальной в контексте обеспечения информационной безопасности. В данной работе исследуются основные причины утечек, анализируются механизмы компрометации данных, а также рассматриваются последствия таких инцидентов как для физических лиц, так и для организаций. Приводится статистика утечек в России и за её пределами, рассматриваются наиболее резонансные случаи. Особое внимание уделяется методам защиты информации — от технических инструментов до законодательных и организационных решений. Сделан вывод о необходимости интегрированного подхода к обеспечению защиты персональных данных.

Ключевые слова: защита данных, кибербезопасность, персональная информация, правовое регулирование, утечка данных, риски информационных систем, цифровая безопасность

Введение

В современном цифровом обществе, где объёмы обрабатываемой информации растут с каждым днём, персональные данные приобретают не только ценность, но и становятся мишенью для злоумышленников. За последние годы масштабы инцидентов, связанных с их несанкционированным распространением, существенно возросли. Только в 2024 году, по оценке экспертов, в российском сегменте интернета оказались в открытом доступе свыше 1,5 миллиарда записей — что на треть больше, чем годом ранее. Аналогичные тенденции наблюдаются и в других странах. Согласно отчёту компании InfoWatch [1], в мире зафиксировано более 9000 случаев утечек за тот же период, и хотя их число снизилось по сравнению с предыдущим годом, проблема остаётся критичной. Настоящая работа направлена на анализ причин и последствий утечек, а также на оценку эффективности существующих методов предотвращения подобных инцидентов.

Причины компрометации персональной информации

Большинство случаев утечки данных обусловлены сочетанием человеческого фактора и технических уязвимостей. Часто причиной становится невнимательность сотрудников, приводящая к неправильной отправке документов или передаче данных через незащищённые каналы связи. Также распространены ситуации, когда конфи-

денциальная информация хранится на внешних носителях без применения шифрования.

Дополнительный риск создают преднамеренные действия злоумышленников. Распространённые схемы включают фишинговые атаки, поддельные сайты, вредоносные программы (вирусы, трояны, шпионское ПО), а также использование уязвимостей в программной архитектуре (например, SQL-инъекции, удалённый запуск кода).

Не менее значимым фактором является слабость ИТ-инфраструктуры: устаревшее программное обеспечение, слабые пароли, отсутствие контроля доступа и журналирования. Кроме того, активно используется социальная инженерия — манипулятивные приёмы, при которых злоумышленник, выдавая себя за сотрудника или руководство, получает доступ к чувствительной информации.

Последствия нарушений конфиденциальности

Для граждан утечка персональных данных чревата серьёзными рисками. Злоумышленники могут использовать полученные сведения для оформления кредитов, несанкционированного доступа к банковским счетам, шантажа или навязчивой рекламы. Даже минимальный объём утекшей информации способен привести к неприятным последствиям, включая психологическое давление и мошенничество.

Юридические лица, допустившие утечку, сталкиваются с финансовыми и репутационными потерями. Помимо административных штрафов и возможной уголовной ответственности, компании

рискуют утратить доверие клиентов, потерять рыночные позиции и понести убытки в результате оттока партнёров. В зарубежной практике, особенно в странах ЕС, штрафы за нарушения в области защиты персональных данных могут достигать 4% от годового оборота компании.

Нормативно-правовая база и ответственность в России

Ключевым нормативным документом в этой сфере является Федеральный закон №152-ФЗ, регламентирующий порядок обработки и хранения персональной информации. Закон требует, чтобы сбор данных проводился на законных основаниях, в рамках определённых целей, с минимальным объёмом информации и соблюдением принципов конфиденциальности. Информация должна быть уничтожена по завершении обработки.

С 2024 года законодательство России значительно ужесточилось. Новый закон №421-ФЗ ввёл уголовную ответственность за незаконную обработку и распространение персональных данных — вплоть до 10 лет лишения свободы. Также были увеличены административные штрафы: за повторные нарушения юридическим лицам может грозить санкция до 3% от годовой выручки, но не менее 25 млн руб.

Вступивший в силу закон №420-ФЗ усилил ответственность за нарушение прав субъектов персональных данных, в том числе за отказ в обслуживании лицам, не желающим проходить биометрическую идентификацию.

Анализ статистических данных

Согласно данным Роскомнадзора, только за 2024 год в России было зафиксировано 135 инцидентов с базами данных, содержащими более 700 млн записей. Для сравнения, в 2023 году таких случаев было 168, но объём утекших данных составлял около 300 млн записей. В глобальном контексте Россия входит в пятёрку стран с наибольшими масштабами утечек.

По данным InfoWatch, в 2024 году на Россию пришлось порядка 8,5% всех инцидентов в мире. В мировом рейтинге по количеству скомпрометированных записей Россия уступает лишь США, Китаю, Индии и Испании.

Известные случаи и их особенности

Пример масштабной утечки — инцидент с Yahoo, в результате которого в 2013–2014 годах были скомпрометированы данные 3 миллиардов пользователей. Причиной стала недостаточная защита доступа к аккаунтам и устаревшие средства авторизации.

Из российских примеров можно выделить атаку на «АльфаСтрахование-Жизнь» в 2025 году. В результате взлома было раскрыто почти полмиллиона записей клиентов, включая адреса электронной почты и телефоны. Информация использовалась мошенниками для фишинговых рассылок, что вызвало волну жалоб и нанесло ущерб репутации компании.

Подобные инциденты демонстрируют ключевые уязвимости — слабую техническую защиту, низкую осведомлённость сотрудников и отсутствие комплексного подхода к информационной безопасности.

Комплекс мер по защите персональных данных

Защита персональных данных неизбежно становится одной из ведущих задач для подразделений, занимающихся информационной безопасностью. Необходимо понимать, что защита персональных данных — это непрерывный процесс, который невозможно организовать в виде кампании или набора мероприятий — в условиях постоянного совершенствования угроз необходимо постоянно и непрерывно совершенствовать набор защитных мер для эффективного противодействия.

Эффективная стратегия защиты персональных данных должна опираться на технические, организационные и правовые меры:

- технические меры: шифрование данных, установка межсетевых экранов, антивирусная защита, многофакторная аутентификация, системы контроля доступа и ведение журналов событий. Рекомендуется внедрение DLP-систем, способных отслеживать и блокировать несанкционированные действия с данными;

- организационные меры: внедрение чётких регламентов, назначение ответственных за безопасность, регулярные тренинги для персонала, проведение аудитов, анализ инцидентов, а также контроль доступа к информации по принципу «минимально необходимого»;

- правовые меры: соблюдение действующего законодательства и стандартов безопасности (например, ISO/IEC 27001), уведомление регулирующих органов о фактах утечек и выполнение предписаний надзорных инстанций.

Заключение

Утечки персональных данных представляют собой серьёзную угрозу как для частных пользователей, так и для компаний. Рост цифровизации требует особого внимания к защите информации. Для эффективного противодействия необходимо применять скоординированные меры на всех

уровнях: техническом, организационном и правовом. Государственное регулирование задаёт рамки и стимулирует соблюдение стандартов, но решающая роль принадлежит самим организациям. Только комплексный подход способен обеспечить надёжную защиту персональных данных в условиях современной цифровой экономики.

Список литературы

1. Денисенко А. В 2024 году в сеть утекли более 710 млн записей о россиянах [Электронный ресурс] // CNews. URL: https://www.cnews.ru/news/top/2025-01-16_v_2024_godu_proizoshlo_135_utechek.
2. Количество слитых персональных данных в 2024 году выросло на треть [Электронный ресурс] // InfoWatch. URL: <https://www.infowatch.ru/company/presscenter/news/kolichestvo-slitykh-personalnykh-dannykh-v-dve-tysyachi-dvadsat-chetvertom-godu-vyroslo-na-tret>.
3. Топ-5 самых крупных утечек данных в истории [Электронный ресурс] // Блог Лаборатории Касперского. 2024. URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/top-five-data-breaches-in-history/38127>.
4. Утечка персональных данных: последствия и меры защиты [Электронный ресурс] // SearchInform. 2024. URL: <https://searchinform.ru/resheniya/biznes-zadachi/zaschita-personalnykh-dannykh/utechki-personalnykh-dannyh/posledstviya>.
5. Утечки данных в России растут [Электронный ресурс] // IT Speaker (новости ИТ-безопасности). Март 2025. URL: <https://itspeaker.ru/news/>.
6. Утечки конфиденциальных данных из организаций: итоги 2-го полугодия 2024 [Электронный ресурс] / PT Security (Positive Technologies). – Март 2025. URL: <https://ptsecurity.com/ru-ru/research/analytics/utechki-dannyh-aktualnye-ugrozy-vtorogo-polugodiya-2024-dlya-organizaczij/>.

Сведения об авторах

Мазнин Дмитрий Николаевич – доцент кафедры информатики и информационной безопасности, начальник отдела защиты информации УИТ и АСУ, ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: maznin@magtu.ru. AuthorID: 1068938.

Таныгина Мария Владимировна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Башкиров Дмитрий Игоревич – обучающийся Проектной школы, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 004.01

ВИ-СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИЙ ЭКОСИСТЕМЫ «1С»: ВОЗМОЖНОСТИ РАЗРАБОТКИ

Масленикова О.Е.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Работа посвящена вопросу постановки задачи на создания аналитической системы, формулированию требований к архитектуре такой системы на основе решений экосистемы фирмы «1С». Показано, что классическая архитектура аналитической системы, включающая подсистемы консолидации данных, корпоративное хранилище, подсистемы обработки и визуализации данных, разворачивается на основе платформы «1С:Предприятие», «1С:Аналитики», «Дата Акселератора» и «1С:Шины». Сформирован образ и границы для разработки такой системы.

Ключевые слова: пользовательские истории, аналитическая система, «1С:Предприятие», «1С:Аналитика», «Дата Акселератор»

Согласно мнению экспертов, в 2025 году спрос на отечественное программное обеспечение для управления предприятием, проекты его внедрения и развития увеличатся, при этом будет наблюдаться следующая тенденция: если в 2024 году акцент при внедрении касался в основном учетных функций, то в 2025 – речь будет идти о процессах планирования, прогнозирования и аналитики. Таким образом, построение ВИ-систем на базе отечественного программного обеспечения не только актуально, но и перспективно.

Образ и границы проекта на создание такой системы определяется следующей пользовательской историей: «Я, как не технический специалист, руководитель предприятия (подразделения), хочу иметь доступ к данным с любого устройства. Они (данные) должны обладать свойствами актуальности и прозрачности, при этом «отвечать на свои вопросы», то есть отчеты на их основе, с одной стороны, должны кратко показывать все основные показатели (KPI), чтобы можно было легко оценить ситуацию в целом, а с другой – должны раскрывать любой показатель вплоть до исходных цифр и транзакций, из которых они состоят, чтобы, если есть какие-то отклонения от нормы, было сразу видно, где конкретно они находятся». Такая история – это позиция, которую озвучивают все руководители, пришедшие к необходимости использования аналитической системы для своей деятельности. Исходя из озвученных позиций, большинство разработчиков таких систем выдвигают так называемые классические требования к их архитектуре, а именно: 1) система должна обеспечивать сбор, очистку и транс-

формацию данных (ETL: Extract, Transform, Load (извлечение, преобразование, загрузка); 2) система должна иметь корпоративное хранилище данных (DWH: Data Warehouse); 3) система должна обеспечивать быструю обработку данных для аналитических отчетов (OLAP; MOLAP, ROLAP); 4) система должна обеспечивать Визуализацию данных и работу с аналитическими отчетами (BI: Business intelligence).

Для реализации такой архитектуры можно использовать программные решения от разных поставщиков, что приводит не только к финансовым рискам, но и к рискам безопасности данных: смена форматов, при передаче данных из подсистем разных производителей, использование различных протоколов и пр. Кроме того, для согласованной работы различных подсистем требуются специалисты.

Для решения данной проблемы многие компании [2, 5, 7] прибегают к возможностям, которые предоставляет платформа «1С:Предприятие» и «1С:Аналитика».

«1С:Аналитика» является ВИ-решением для такой архитектуры системы. С точки зрения внутреннего устройства этот продукт расширяется функционал платформы до полноценного аналитического решения. По своей сути «1С:Аналитика» – визуальный интерфейс для построения и просмотра отчетов и данных пользователями без специальных технических знаний. Особенность работы заключается в поддержке адаптивной работы через веб-интерфейс, с любого устройства. «1С:Аналитика» предоставляет простые визуальные редакторы, посредством которых пользователь «рисует отчет», система же его «переводит» на язык запросов и отправляет на обра-

ботку в платформу. Хранилище данных также организуется за счет платформы. Преимуществом является и то, что для подключения к «1С:Аналитике» пользователь использует учетную запись 1С, таким образом сохраняется имеющийся и настроенный контур безопасности программных решений фирмы «1С». Для ускорения обработки данных используются две основные технологии: механизм копий баз данных (для горизонтального масштабирования) и «Дата Акселератор» (это отдельная СУБД класса ROLAP, в которой может храниться копия данных) [1, 3, 4].

Таким образом, классическую архитектуру аналитической системы можно развернуть на базе решений фирмы «1С» (см. таблицу).

Соответствие компонент архитектуры аналитической системы при ее переносе в среду «1С»

№ п/п	Компонент «классической» архитектуры аналитической системы	Компонент архитектуры аналитической системы в среде «1С»
1	Подсистема сбора, очистки и трансформации данных (ETL)	Консолидация и очистка за счет механизмов платформы «1С:Предприятие»
2	Корпоративное хранилище данных (DWH)	Корпоративное хранилище на основе метаданных платформы «1С:Предприятие»
3	Подсистема быстрой обработки данных (OLAP; MOLAP, ROLAP)	Дата Акселератор
4	Подсистема визуализации данных (BI)	1С:Аналитика

Второй вариант построения архитектуры аналитической системы предполагает предварительную интеграцию данных на базе решений «1С» с последующим подключением интерфейса аналитики. Для этой задачи может использоваться дополнительно «1С:Шина» [6, 8].

Таким образом, построить BI-систему для предприятия возможно как аналитическую систему 1С, куда могут войти программный интерфейс «1С:Аналитика», «Дата Акселератор». Их возможности позволяют работать как с исходными данными продуктов «1С», так и из внешних источников, в том числе при распределенной техно-

логии работы, просматривать и визуализировать их, выявлять закономерности и оценивать качество принятых управленческих решений.

Опыт отдельных компаний – партнеров «1С» (ГК «Экспонента», Инфо-Комплекс, CorpSoft24™ – Корпоративные ИТ сервисы и др.) – в вопросах разработки аналитических систем достаточно широк: с 2023 года законченных внедрений было осуществлено в общей сложности на 1584 рабочих места в муниципальных организациях, в государственных образовательных учреждениях, производственных предприятиях и ИТ-компаниях.

Список источников

1. Архитектура аналитических систем на платформе 1С. URL: <https://habr.com/ru/companies/1c/articles/675126/> (Дата последнего обращения: 15.05.2025 г.).
2. Материалы вебинаров ГК «Экспонента». URL: https://disk.yandex.ru/d/fovqVnT27H_M0g (Дата последнего обращения: 15.05.2025 г.).
3. Официальный сайт программного продукта «1С:Аналитика». URL: <https://analitica.ru/> (Дата последнего обращения: 15.05.2025 г.).
4. Применение 1С:Аналитики и Дата акселератора, или Как получить в 1С прозрачность и скорость обработки данных для прямого доступа и контроля руководителя. URL: <https://infostart.ru/1c/articles/2056859/> (Дата последнего обращения: 15.05.2025 г.).
5. Рынок «1С»: динамика и драйверы. – URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Рынок_1С:_динамика_и_драйверы (Дата последнего обращения: 15.05.2025 г.).
6. Салимов А.Р., Шпанко С.В. Развитие линейки сервисов 1С // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов XXV Международной научно-практической конференции, Москва, 04–05 февраля 2025 года. Москва: ООО «1С-Паблишинг», 2025. С. 31-33. EDN LAPZAT.
7. Саркисова И.О. Аналитические инструменты в подготовке IT-специалистов // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов XXV Международной научно-практической конференции, Москва, 04–05 февраля 2025 года. Москва: ООО «1С-Паблишинг», 2025. С. 47-49. EDN JICKRC.
8. ERP-решения 1С - современный тренд цифровизации флагманов экономики / А. С. Кислов, А. А. Нестеров, В. Ю. Талдыкин [и др.] // Новые информационные технологии в образовании: сборник научных трудов XXV Международной научно-практической конференции, Москва, 04–05 февраля 2025 года. Москва: ООО «1С-Паблишинг», 2025. С. 26-30. EDN JIATKK.

Сведения об авторе

Масленникова Ольга Евгеньевна – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», o.maslennikova@magtu.ru.

УДК 622.311.172

РАЗРАБОТКА УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗАННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НЕПРЕРЫВНО-ТРАВИЛЬНОГО АГРЕГАТА

Николаев А.А., Максимов И.И., Кудимов В.Д., Матушкин Н.Р., Емельянов В.А.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье приведены результаты исследований причин возникновения колебаний натяжения полосы в непрерывно-травильном агрегате, а также в других агрегатах непрерывной обработки полосы, имеющих систему косвенного регулирования натяжения. Описаны риски, связанные с их появлением. Разработан способ демпфирования колебаний натяжения полосы за счёт применения усовершенствованной системы автоматического управления моментом электропривода накопителя полосы с дополнительной корректирующей обратной связью по скорости.

Ключевые слова: агрегаты непрерывной обработки полосы, колебания натяжения полосы, система косвенного регулирования натяжения полосы, система автоматического регулирования момента с коррекцией скорости, пропорционально-интегральный регулятор скорости

Введение

В настоящее время одной из наиболее востребованных отраслей чёрной металлургии является производство стального листа. Изготавливаемая продукция получила широкое распространение в множестве областей: от строительства и транспортной промышленности до производства бытовой техники и космической отрасли.

В ходе научно-исследовательских работ, проведённых на одном из металлургических предприятий России, производящем продукцию стального проката, были исследованы агрегаты непрерывной обработки полосы: непрерывно-травильный агрегат (НТА), агрегат непрерывного горячего цинкования (АНГЦ), агрегат полимерных покрытий (АПП); а также проанализированы режимы работы соответствующих им взаимосвязанных электроприводов. В результате во всех агрегатах была выявлена схожая проблема – наличие значительных колебаний натяжения полосы между накопителями и натяжными станциями, возникающих при изменении скорости подвижной рамы петленакопителя.

Выявленные колебания натяжения полосы оказывают негативные эффекты на процесс производства стального листа. Помимо смещения полосы с ролика, они способны приводить к её деформации. Особенно это заметно на АНГЦ и АПП, где колебания, исходя от входной и выходной зон агрегата, передаются в технологическую,

а именно печную зону, где под воздействием высоких температур полоса в большей степени подвержена деформации. Как следствие, возникшей задачей стала разработка усовершенствованной системы управления электропривода накопителя, демпфирующей колебания.

Результаты экспериментальных исследований колебаний натяжения полосы на непрерывно-травильном агрегате

Все исследуемые агрегаты непрерывной обработки полосы обладают системой косвенного регулирования натяжения полосы. Данная система предполагает отсутствие датчиков натяжения, а как следствие, и контура его регулирования. Расчёт натяжения полосы производится путём перерасчёта моментов.

В качестве примера на рис. 1 приведена схема технологической линии НТА, функционирующего на одном из металлургических заводов.

Технологические линии всех исследованных агрегатов непрерывной обработки полосы по характеру скоростей движения полосы разделяют на входную, технологическую и выходную зоны. Главной является технологическая зона, в которой осуществляются основные операции обработки стального проката. Скорость полосы в данной зоне неизменна на протяжении всего процесса обработки металла заданного сортамента. Входная и выходная зоны являются вспомогательными, значения скоростей полосы в них изменяются в зависимости от хода технологического процесса. В данных зонах, помимо накопления запаса полосы, производится остановка её движения для соеди-

нения конца полосы обрабатываемого рулона с передним краем следующего рулона во входной зоне и для их разъединения в выходной зоне.

Технологическая линия НТА, за исключением технологической зоны, схожа с линиями АНГЦ и АПП. Её основными агрегатами являются разматыватели, накопители полосы, натяжные станции (НС) и моталка.

При анализе данных для режимов работы взаимосвязанных электроприводов, записанных в

виде массивов данных (iba-файлы), колебания натяжения полосы во входной и выходной зонах были выявлены косвенным образом, а именно в проявлении колебаний скорости приводного двигателя накопителя полосы (рис. 2) и колебаниях моментов натяжных станций (рис. 3), работавших в режиме поддержания скорости. Из-за наличия схожих проблем исследуемых агрегатов дальнейшее описание исследования будет проводится на примере НТА.

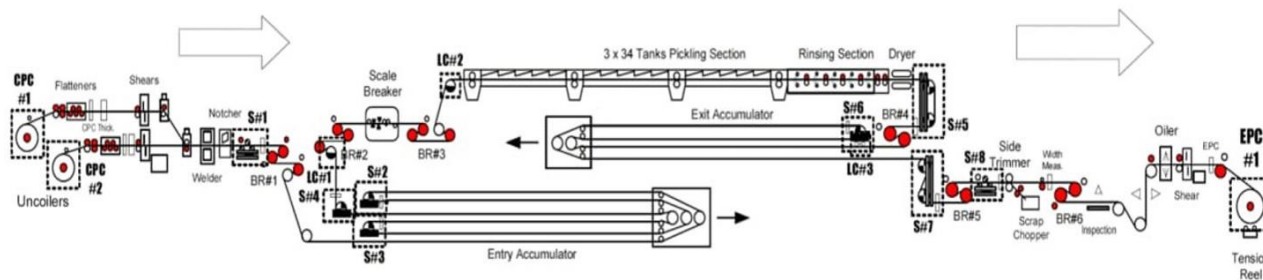


Рис. 1. Схема технологической линии НТА

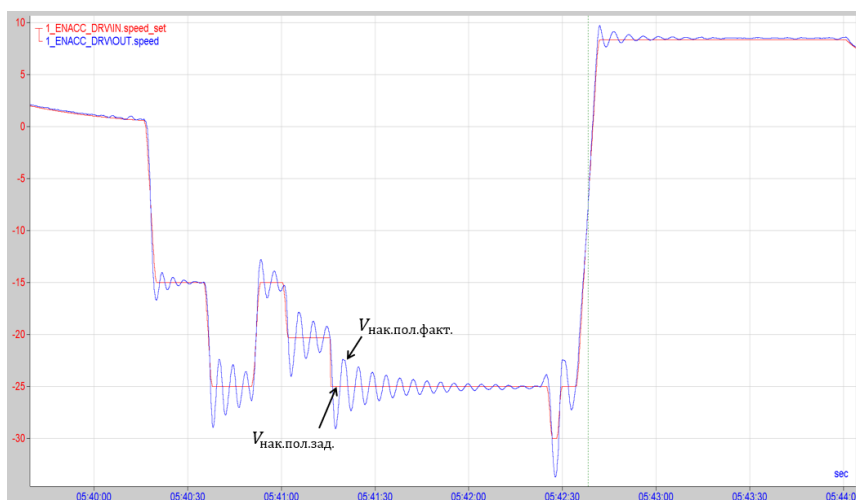


Рис. 2. Графики изменения заданной и фактической скорости приводного двигателя входного накопителя полосы НТА

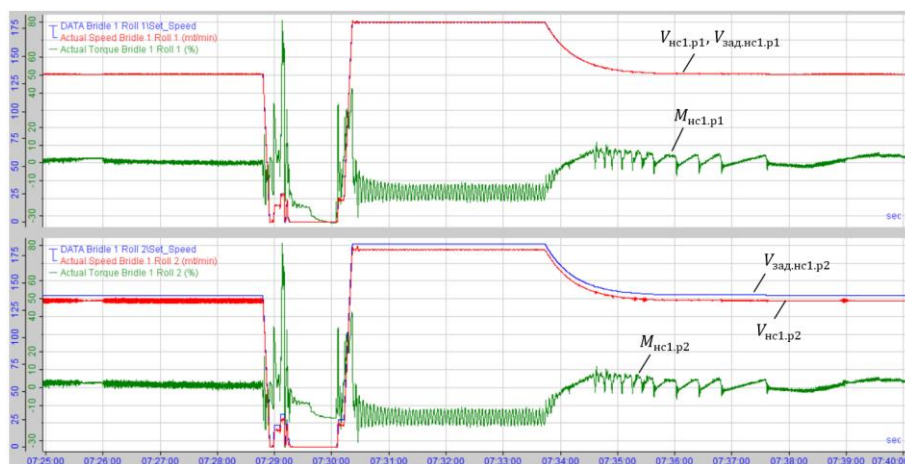


Рис. 3. Графики изменения заданных и фактических скоростей, моментов приводных двигателей натяжной станции №1 НТА

Демпфирование колебаний натяжения полосы

В результате анализа полученных данных был сделан вывод, что сильные колебания имеют место из-за наличия упругих элементов в механизме самого накопителя: тросов, цепей, противовеса и самой полосы, связывающей петленакопитель с другими электроприводами. Для решения проблемы, связанной с колебаниями натяжения полосы, была разработана структурная схема математической модели агрегата (рис. 4).

Одним из способов уменьшения амплитуды колебаний является ограничение темпов разгона и торможения электропривода накопителя, в таком случае влияние упругих связей снижается, и колебания натяжения полосы становятся незначительными. Однако в этом случае снижается производительность самого агрегата из-за медленного накопления полосы и вынужденного снижения скорости обработки. Поэтому демпфировать колебания натяжения полосы необходимо за счёт применения усовершенствованной системы управления электропривода накопителя.

При анализе данных видно, что колебания натяжения полосы возникают при движении рамы накопителя, когда происходит рассогласование между сигналами натяжных станций. Для нормального функционирования системы необходимо создавать корректирующее воздействие именно в момент рассогласования действительной скорости накопителя от заданной, то есть использовать контур регулирования скорости. Одним из решений является применение в усовершенствованной си-

стеме управления электропривода накопителя корректирующей обратной связи по скорости, то есть переход традиционной системы автоматического регулирования момента (САРМ) к системе автоматического регулирования момента с коррекцией по скорости (САРМ КС).

Структурная схема усовершенствованной САРМ электропривода накопителя с корректирующей обратной связью по скорости изображена на рис. 5.

По структурной схеме видно, что создание дополнительного канала регулирования момента достигается добавлением пропорционального регулятора скорости (П-РС), который в рабочем режиме электропривода накопителя находится в активном (ненасыщенном) состоянии. При этом формирование корректирующего задания на момент $M_{корр}$ будет происходить в функции отклонения действительной угловой скорости вращения приводного электродвигателя накопителя полосы от заданной. В момент появления отклонения скорости двигателя петленакопителя $\omega_{дв.нак}$ от сигнала задания $\omega_{з.нак}$, который, в свою очередь, пропорционален разности сигналов заданий на скорость ведущих роликов натяжных станций $V_{з.нс1}$ и $V_{з.нс2}$, регулятор с коэффициентом усиления k_{pc} создаст положительное или отрицательное корректирующее задание $M_{корр}$, что позволит изменить суммарный сигнал задания на момент M_{Σ} таким образом, чтобы компенсировать изменение скорости приводного двигателя накопителя.

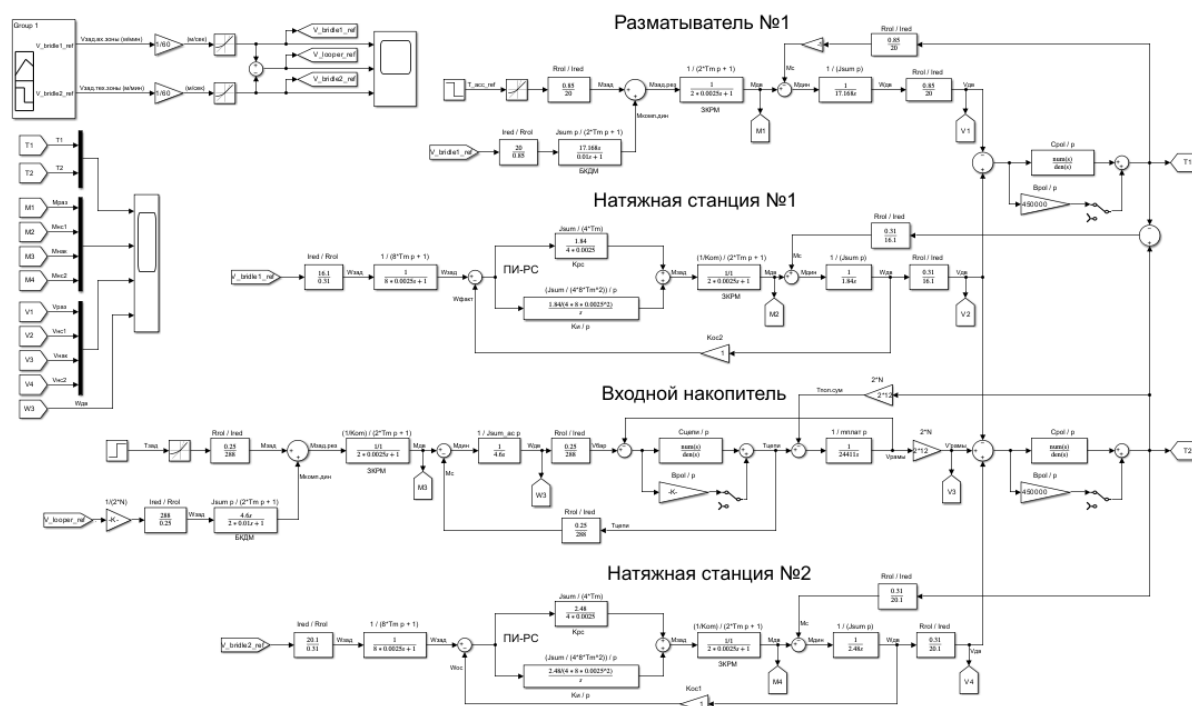


Рис. 4. Структурная схема математической модели группы взаимосвязанных электроприводов НТА «Разматыватель-НС№1-входной накопитель-НС№2»

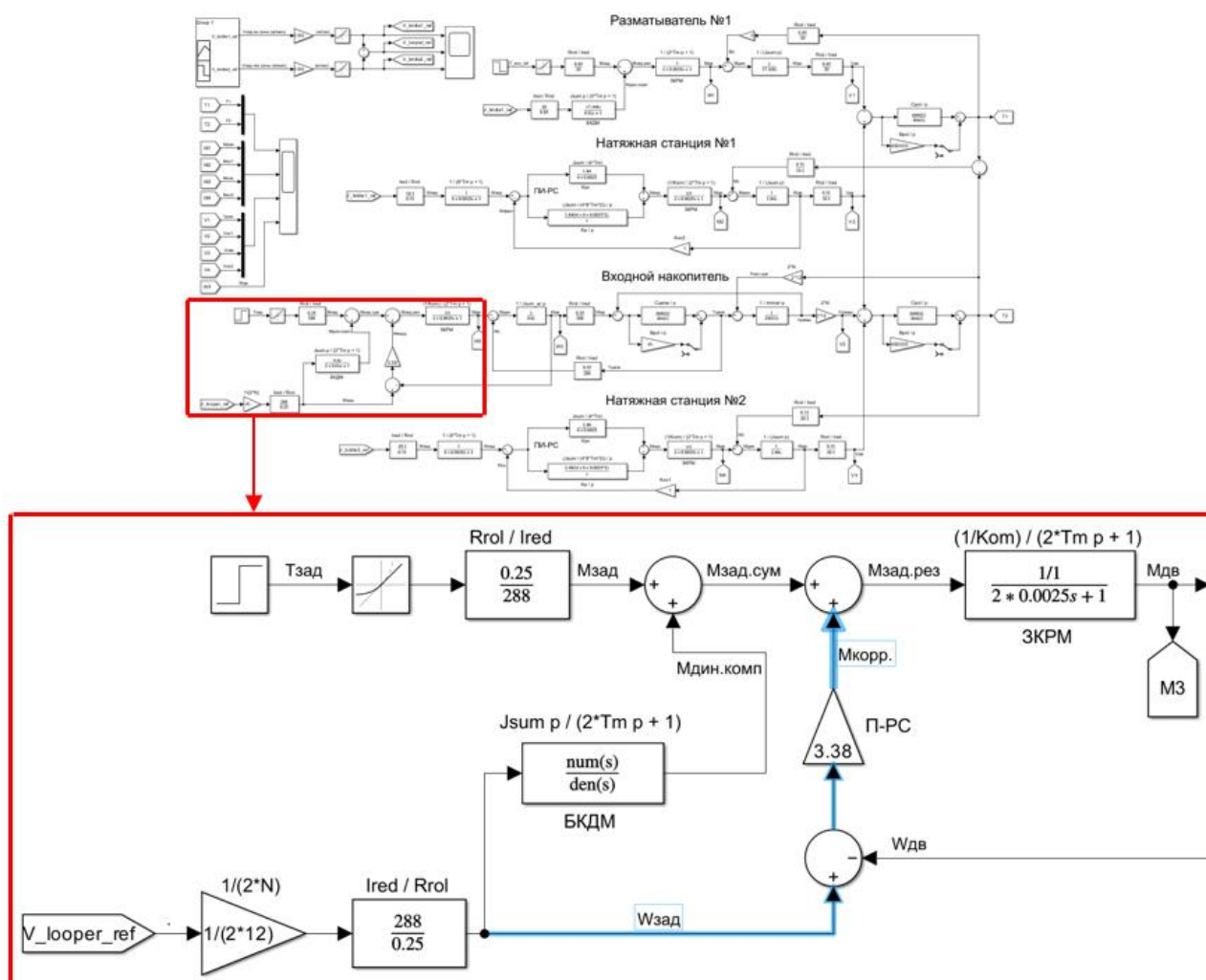


Рис. 5. Структурная схема усовершенствованной САРМ электропривода накопителя с корректирующей обратной связью по скорости

Полученные переходные процессы математической модели с САРМ КС на рис. 6 показывают отсутствие колебаний скоростей и моментов при-

водных двигателей размотывателя, натяжных станций и входного накопителя непрерывного агрегата.

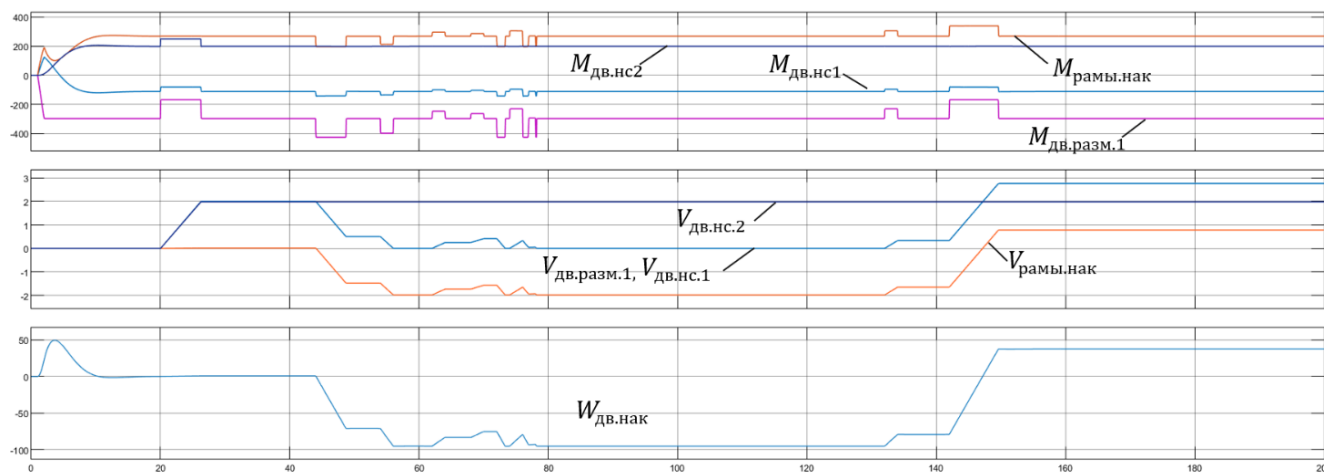


Рис. 6. Графики переходных процессов скоростей, моментов приводных двигателей размотывателя, НС№1, НС№2, входного накопителя НТА

Заключение

Разработанные усовершенствованные алгоритмы управления электропривода накопителя позволяют в значительной степени компенсировать колебания натяжения полосы. Применение усовершенствованных алгоритмов управления взаимосвязанными электроприводами НТА создаёт резервы для повышения производительности агрегата за счёт возможности увеличения скорости обработки полосы.

Список источников

1. Николаев А.А., Кирпичников Ю.А., Юдин А.Ю. Математическая модель механической части входного накопителя полосы агрегата непрерывного горячего цинкования ОАО «ММК» // Наука и производство Урала: сборник трудов межрегиональной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Новотроицк: НФ МИСиС, 2005. С. 178-181
2. Математическая модель входного накопителя полосы агрегата непрерывного горячего цинкования

ОАО «ММК» / Храмшин Т.Р. Корнилов Г.П., Кирпичников Ю.А., Николаев А.А. // Электромеханические преобразователи энергии: материалы Международной научно-технической конференции 20-22 октября 2005 г. Томск: ТПУ, 2005. С. 289-292.

3. Кирпичников Ю.А., Юдин А.Ю. Исследование скоростных режимов работы входного накопителя полосы агрегата непрерывного горячего цинкования ОАО «ММК» // Материалы 63-й научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ за 2003-2004 гг.: сб. докл. Т.2. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 110-114.
4. Юдин А.Ю. Анализ работы электропривода накопителя полосы агрегата непрерывного горячего цинкования // Электротехнические системы и комплексы: межвуз. сб. науч. тр. Вып.8 / под ред. С.И. Лукьянова, Д.В. Швидченко. Магнитогорск: МГТУ, 2004. С. 93-101.
5. Исследование режимов работы взаимосвязанных электроприводов агрегата непрерывного горячего цинкования / Д.А. Фатхуллин, А.А. Николаев, А.П. Камаев, Е.В. Минеев, Т.Ю. Вахитов // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. 2009. №1. С.81-83.

Сведения об авторах

Николаев Александр Аркадьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой АЭПиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: aa.nikolaev@magtu.ru. ORCID 0000-0001-5014-4852

Максимов Илья Игоревич – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID 0009-0004-7940-4119

Кудимов Владислав Дмитриевич – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Revisionist1993@gmail.com. ORCID 0009-0007-4556-6373

Матушкин Никита Романович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: matushkin_nik@bk.ru. ORCID 0009-0009-5414-6148

Емельянов Владимир Андреевич – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. ORCID 0009-0008-4091-6597

УДК 004.932.72

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ ПРОКАТНОГО ВАЛКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХ ИНДУКТОРОВ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

Яковлев Е.И., Ремезова А.П.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье рассматривается проблема повышения эффективности термообработки прокатных валков за счет применения двух индукторов с различными частотами (50 и 1000 Гц). Разработано программное обеспечение для моделирования тепловых процессов, позволяющее оптимизировать равномерность прогрева, снизить энергозатраты и минимизировать дефекты закалки. Результаты моделирования демонстрируют преимущества использования двух индукторов: глубокий прогрев за счет низкочастотного индуктора и равномерный нагрев поверхности при высокочастотном воздействии.

Ключевые слова: индукционный нагрев, прокатный валок, термообработка, моделирование, энергоэффективность

Введение

В современных металлургических производствах прокатные валки играют ключевую роль, определяя качество и эффективность процессов обработки металлов. Долговечность этих элементов напрямую зависит от свойств их поверхностного слоя, включая твердость, глубину закалки и уровень остаточных напряжений. Термообработка – завершающий этап изготовления валков. Традиционно выполняется с использованием индукционного нагрева. Однако применение одного индуктора часто приводит к неравномерному распределению температуры, что вызывает дефекты закалки и повышенные энергозатраты. В данной работе предложено решение этой проблемы – использование двух индукторов с разными частотами (50 и 1000 Гц), позволяющее совместить глубокий прогрев прокатного валка и нагрев поверхности, то есть рабочего слоя.

Основная часть

Основой исследования стала разработка программного продукта для математической модели, описывающей тепловые и электромагнитные процессы в прокатном валке [1, 2]. Математическая модель учитывает зависимость средней глубины прогрева от частоты: для 50 Гц она составила 10 мм, а для 1000 Гц – 2,2 мм. Использование различных частот индуктора позволило определить зоны влияния каждого индуктора: низкочастотный обеспечивает прогрев внутренних слоев, а высокочастотный фокусируется на поверхности.

Параметры моделирования включали геометрические характеристики валка (диаметр, длина, материал), начальную температуру в помещении с установкой и граничные условия. Программная реализация выполнена с помощью библиотеки JavaFX.

JavaFX – инструмент для визуализации данных, включая построение различных типов графиков и диаграмм. Библиотека включает готовые компоненты для создания линейных графиков, столбчатых и круговых диаграмм, точечных и пузырьковых диаграмм, а также графиков с областями, что позволяет быстро и без сложной реализации отображать данные в наглядной форме [3]. Эти компоненты поддерживают гибкую настройку, включая изменение цветов, подписей, осей и легенд, что обеспечивает адаптацию под различные требования к визуализации.

Одним из ключевых преимуществ JavaFX является возможность динамического обновления графиков, что особенно полезно для приложений, работающих с реальными данными [4]. Графики могут обновляться в реальном времени, обеспечивая актуальное отображение изменяющихся значений. Кроме того, библиотека поддерживает анимацию и плавные переходы, что позволяет создавать интерактивные и визуально привлекательные диаграммы [5].

Программа для моделирования индукционного нагрева прокатных валков, показанная на рис. 1–3, представляет собой специализированный программный комплекс, предназначенный для детального анализа и оптимизации процесса нагрева металлических валков перед их эксплуатацией в прокатных станах. Интерфейс программы вклю-

чает несколько ключевых элементов, позволяющих визуализировать и контролировать температурные поля в различных сечениях вала в режиме реального времени.

Продольное сечение демонстрирует распределение температуры вдоль оси вала, что особенно важно для оценки равномерности прогрева по всей длине изделия. Наличие двух индукторов в модели свидетельствует о возможности реализации сложных схем нагрева.

Детализация позволяет проводить послойный анализ распределения температуры, что критиче-

ски важно для понимания глубины прогрева – ключевого явления при индукционном нагреве. Кнопки «Запустить моделирование», «Остановить» и «Очистить» обеспечивают интерактивное взаимодействие с программой, позволяя оперативно изменять параметры процесса и анализировать их влияние. Такая функциональность делает программу не просто инструментом визуализации, а полноценной рабочей средой для технологического проектирования.

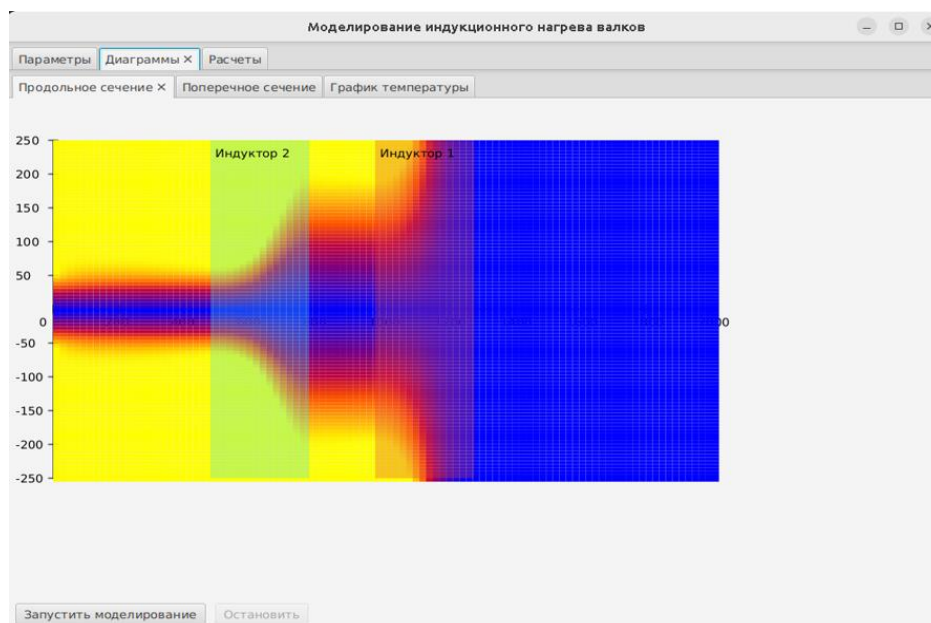


Рис. 1. Продольное сечение вала

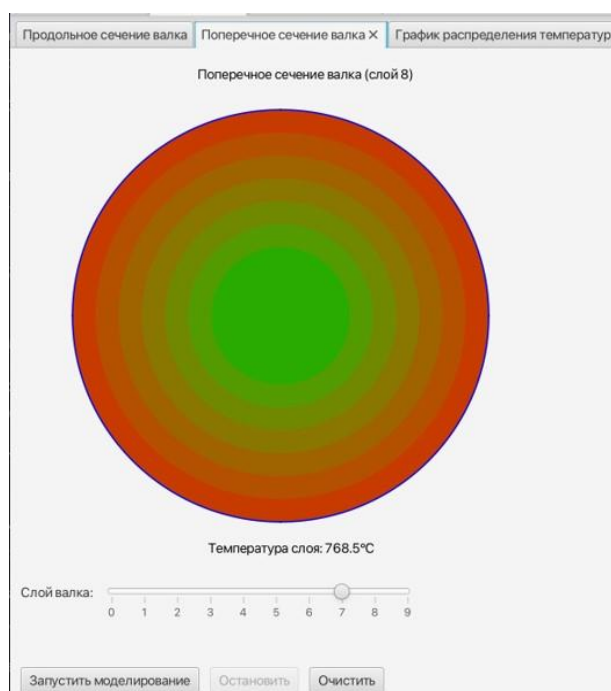


Рис. 2. Поперечное сечение вала



Рис. 3. Численные расчеты

В верхней части экрана представлены основные разделы: настройки модели, диаграмма распределения температур и численные расчеты. Центральное место занимают данные о температурном распределении по длине вала с шагом 0,2 м. Особое внимание уделено параметрам индуктора: он расположен на позиции 1,38 м, движется вперед со скоростью 10 мм/с при напряжении 380 В. Текущее время моделирования составляет 1676 с (около 28 мин), что позволяет оценить продолжительность процесса. Визуализация помогает анализировать зоны максимального нагрева, контролировать равномерность прогрева и оптимизировать параметры работы индукционного оборудования перед его реальным применением в производственных условиях.

Выводы

Проведенное исследование и анализ программы для моделирования индукционного нагрева прокатных валков позволили сделать следующие ключевые выводы:

1. Эффективность моделирования. Программный комплекс обеспечивает точное прогнозирование температурных полей в прокатных валках, что критически важно для оптимизации технологических процессов. Визуализация в виде продольных и поперечных сечений, а также графиков распределения температуры позволяет детально анализировать нагрев и выявлять потенциальные проблемные зоны.

2. Контроль параметров нагрева. Возможность регулировки положения индукторов, напряжения, скорости перемещения и времени нагрева обеспечивает гибкость в настройке процесса. Это особенно важно для достижения равномерного прогрева и предотвращения локальных

перегревов, которые могут привести к деформациям или ускоренному износу валков.

3. Практическая значимость. Использование подобных программных решений в металлургическом производстве позволяет снизить количество брака при прокатке за счет равномерного нагрева валков и увеличить срок службы валков благодаря оптимизации термической обработки.

Программа предоставляет инженерам комплексные данные, сочетая численные значения с ключевыми технологическими параметрами, что значительно упрощает процесс настройки и корректировки режимов нагрева для достижения оптимальных результатов при обработке прокатных валков.

Список литературы

1. Гува А.Я. Краткий теплофизический справочник. Новосибирск: Сибвузиздат, 2002. 300 с.
2. Ермакова М., Маннанов Э., Козулина Т. Численное моделирование индукционной системы нагрева диска // Наука. Технологии. Инновации: сб. науч. тр. в 9 ч. / под ред. Е. Г. Гуровой. 2015. С. 12–15.
3. Лепёшкин С.А. Моделирование и исследование распределения температуры во вращающихся дисках с учетом взаимного влияния // Энерго- и ресурсосбережение XXI века: материалы XII междунар. науч.-практ. интернет-конф. Орел, 2014. С. 77–79.
4. Гордиенко А.И., Михлюк А.И., Вегера И.И. Новые направления развития технологий и оборудования индукционного нагрева // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. 2016. № 1. С. 5–13. EDN VSTXWL.
5. Программный комплекс моделирования систем управления теплообменными процессами / В. Д. Кондратьева, Е. А. Шулаева, Т. В. Шулаева [и др.] // Уральский научный вестник. 2018. Т. 12, № 5. С. 65–68. EDN YUJYRN.

Сведения об авторах

Яковлев Евгений Иванович – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск. E-mail: yakovlev.ei@mail.ru. ORCID 0009-0006-6405-9089

Ремезова Анастасия Павловна – студент, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск. E-mail: remezova.nastysija@mail.ru. ORCID 0009-0007-8445-0242

УДК 622.24.06

АКТУАЛЬНОСТЬ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БУРОВЫХ РАСТВОРОВ

Басков В.А., Лимарев А.С., Медяник Н.Л.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В работе рассматривается усовершенствованная методика оценки качества буровых растворов, основанная на вычислении интегрального индекса качества и последующей автоматизированной корректировке параметров раствора. Методика позволяет оценить процент соответствия раствора эталонным значениям параметров и определить количество вещества, которого нужно добавить в систему для повышения качества раствора. Благодаря комплексному подходу, методика позволяет оперативно реагировать на изменения свойств раствора, что особенно важно при работе на сложных геологических объектах.

Ключевые слова: буровой раствор, оценка качества, методика, интегральный индекс качества, корректировка, параметр

Современные технологии освоения сложно-устроенных нефтегазовых месторождений предъявляют особые требования к технологическим жидкостям, используемым в бурении скважин. Буровой раствор — многофункциональная дисперсная система, свойства которой напрямую влияют на безопасность, скорость, экономичность и успешный исход строительства скважины [1]. В таких условиях способность объективно и своевременно оценивать качество бурового раствора становится неотъемлемым элементом устойчивого технологического процесса бурения.

Вопрос обеспечения качества буровых растворов особую актуальность приобретает вследствие возрастающей технической сложности буровых работ, разнообразия типов скважин и буровых сред, а также необходимости бурения на больших глубинах и в сложных геологических условиях. Ключевыми проблемами, с которыми сталкиваются современные производственные и инженерные коллективы, являются:

- многоступенчатое взаимодействие раствора с разнородными горными породами, приводящее к потере его первоначальных свойств;

- необходимость постоянной корректировки состава раствора в условиях меняющихся геологических разрезов, температуры и давления;

- разнообразие промывочных жидкостей требует индивидуализированного подхода к их контролю, так как существует несколько конкурирующих стандартов (API, ГОСТ, ISO), а также специфические технические условия на каждой скважине;

- неспособность традиционных методов контроля полностью учесть комплексные эффекты многокомпонентных промывочных жидкостей, что часто приводит к авариям, прихватам инструмента, нерациональному расходу реагентов и снижению эксплуатационного потенциала пласта [2].

В основе ряда проблем лежит неправильно подобранный или несоответствующий требованиям раствор, который приводит к быстрому осаждению шлама, образованию фильтрационных корок, каверн, прихватам, а также к ухудшению естественной пористости и проницаемости пласта. Всё это затрудняет получение достоверной геологической информации, снижает скорость проходки и увеличивает стоимость бурения. Поэтому требуется не только постоянный лабораторный и оперативный контроль за состоянием раствора, но и внедрение комплексных методик их оценки, позволяющих принимать управленческие решения на основе объективных данных.

В ответ на поставленные технологические вызовы была предложена и обоснована комплексная методика оценки качества буровых растворов, позволяющая системно анализировать и количественно выражать степень соответствия раствора требуемым характеристикам. В её основе лежит мультипараметрический подход с расчетом интегрального индекса качества — IQ.

В состав методики входят следующие этапы:

- Отбор проб бурового раствора — регламентированы точки, объёмы и правила транспортировки проб с целью обеспечения их репрезентативности и предотвращения изменений состава при хранении.

- Стандартизированное определение основных параметров — измеряются такие показатели,

как плотность, вязкость, водоотдача, содержание твёрдых фаз, pH, содержание ионов и некоторые другие, в соответствии с отечественными и международными методиками (ГОСТ 33213-2014 [3], API RP 13B-1 [4]).

– Сравнение с эталонными значениями и допусками — для каждого параметра бурового раствора устанавливается нормативный диапазон с учётом типа системы (глинистая, полимерная, углеводородная и т.д.) и особенностей эксплуатационных условий. Если значение показателя выходит за границу нижнего или верхнего предела отклонений, то раствор необходимо скорректировать.

Расчет интегрального индекса качества (IQ).

Интегральный индекс IQ представляет собой универсальный количественный критерий, который отображает степень близости анализируемого раствора к идеальному с точки зрения выбранных параметров и их весовой значимости. Он рассчитывается как взвешенная сумма нормированных индексов качества индивидуальных параметров. Его задача привести все контролируемые показатели к единой шкале соответствия, чтобы обобщить их влияние на раствор.

Для нормирования используется модифицированная линейная функция желательности Харрингтона [5], задающая индексы качества P_i каждого параметра в диапазоне от -1 до 1, где 0 соответствует оптимальному значению, а ± 1 – допустимым предельным значениям.

$$P_i = \frac{2X_i - (X_{i,max} + X_{i,min})}{X_{i,max} - X_{i,min}}, \quad (1)$$

где P_i – индекс качества для одного показателя (в интервале 0–1);

X_i – измеренное значение i -го показателя;

$X_{i,min}$ – нижний предел значений показателя i -го свойства;

$X_{i,max}$ – верхний предел значений показателя i -го свойства.

Эта формула определяет нормированное значение P_i для параметра X_i , учитывая заданный диапазон допустимых значений $[X_{i,min}, X_{i,max}]$.

Отсюда следует, что

$$P_i = -1 \text{ при } P_i = P_{i,min};$$

$$P_i = 1 \text{ при } P_i = P_{i,max};$$

$$P_i = 0 \text{ при } P_i = \frac{P_{i,min} + P_{i,max}}{2}.$$

Итоговый интегральный индекс IQ рассчитывается по формуле

$$IQ = (1 - \sum_{i=1}^n |W_i \cdot P_i|) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где W_i — экспертно определённые весовые коэффициенты значимости для каждого контролируемого показателя (таким образом, ключевые свойства, например плотность или фильтрация, оказывают большее влияние на итоговый IQ) [6]; P_i — индексы качества параметров; n — количество показателей.

Данный математический аппарат позволяет структурировать обработку результатов испытаний, учитывать относительную значимость тех или иных параметров для конкретных условий и принимать решение на основе единого числового индикатора, оценивание которого производится по специальной шкале (табл. 1).

Таблица 1

Шкала оценки качества буровых растворов по интегральному индексу IQ

Индекс качества IQ, %	Оценка качества раствора	Рекомендуемые действия
90 – 100	Отлично	Продолжать использовать текущий раствор; поддерживать параметры
75 – 90	Хорошо	Возможны незначительные корректировки (мониторинг)
50 – 75	Удовлетворительно	Требуется корректировка (улучшение свойств раствора)
25 – 50	Неудовлетворительно	Немедленные меры для корректировки параметров
0 – 25	Критическое	Раствор непригоден; необходимо переделывать или заменить

Шкала оценки качества промывочных жидкостей позволяет сделать вывод о соответствии бурового раствора эталонным значениям.

Комплексная методика не только позволяет объективно оценить состояние бурового раствора, но и предлагает алгоритм оптимизации его состава.

Корректировка проводится пошагово:

1. Анализ отклонений.

Путем анализа индивидуальных индексов качества определяется, какие параметры в наибольшей степени отклонены от нормы и насколько существенно они отражаются на общем IQ. Приоритет отдается самым значимым (наибольший весовой коэффициент W_i) и наиболее отклонённым свойствам.

2. Расчёт требуемого количества реагента.

Расчет производится по формулам (3)-(4). Для параметров, корректируемых добавлением (или удалением) реагентов (например, плотность — баритом, вязкость — введением КМЦ, фильтрация — бентонитом или полимерами и т.д.), используется формула

$$m_{\text{в-ва}} = \frac{(X_{i\text{н}} - X_{i\text{факт}}) \cdot V}{P_{X,k} - X_{i\text{факт}}} \quad (3)$$

или

$$V_{\text{в-ва}} = \frac{(X_{i\text{н}} - X_{i\text{факт}}) \cdot V}{P_{X,k} - X_{i\text{факт}}}, \quad (4)$$

где $m_{\text{в-ва}}$, $V_{\text{в-ва}}$ — соответственно масса и объём добавляемого вещества, кг;

V — объём раствора, который требуется скорректировать, м³;

$X_{i\text{н}}$ — номинальное (эталонное) значение параметра;

$X_{i\text{факт}}$ — фактическое (текущее) значение параметра;

$P_{X,k}$ — значение корректируемого показателя в чистом реагенте.

3. Внесение, перемешивание, созревание.

Корректирующие вещества добавляются по определённой технологии (порядок добавления, скорость перемешивания, срок выдержки), чтобы предотвратить образование нерастворимых соединений и обеспечить однородность раствора. Для каждого класса растворов и реагентов эти процессы стандартизированы.

4. Повторное тестирование и корректировка.

После смешения производится новый замер и пересчёт IQ, цикл повторяется до достижения нормативных значений и оптимального уровня интегрального индекса.

5. Технологическая таблица контроля.

Для облегчения работы персонала создана табл. 2, в которой для каждого параметра указаны возможные варианты корректировки и соответствующие реагенты.

Таблица 2

Рекомендации по корректировке параметров буровых растворов

Параметр бурового раствора	Требуемая корректировка	Реагент
Плотность	Увеличение	Добавить утяжелитель (барит, гематит, кальцит)
	Уменьшение	Разбавить водой/маслом или удалить часть раствора, заменить на менее плотный
Вязкость	Увеличение	Добавить вязкообразующую глину, бентонит, КМЦ, КССБ, полимеры
	Уменьшение	Разбавить водой/диспергировать реагентами: содой, лигносульфонатами, ПАА
Водоотдача	Увеличение	Добавить утоняющие глины, бентонит, ПАА, органические полимеры, КМЦ
	Уменьшение	Разбавить раствором, увеличить температуру, ввести соли (NaCl, CaCl ₂)
Толщина фильтрационной корки	Увеличение	Ввести полимеры, КМЦ, обработать раствором лигносульфонатов
	Уменьшение	Удалить полимеры, добавить грубодисперсную глину
Содержание песка	Увеличение	Добавить песок (для моделирования, испытаний)
	Уменьшение	Пропустить через вибросито, очистить промывку (десандер, гидроциклон)
pH	Увеличение	Добавить щелочь (NaOH, кальцинированная сода, Ca(OH) ₂)
	Уменьшение	Добавить кислоту (уксусная, лимонная, соляная), гипс
Содержание хлорид-ионов	Увеличение	Ввести соляной раствор (NaCl, KCl, CaCl ₂)
	Уменьшение	Разбавить пресной водой, провести обмен ионами (обработка содой/баритом)
Общая жёсткость	Увеличение	Ввести раствор CaCl ₂ или CaSO ₄
	Уменьшение	Обработка содой, Na ₂ CO ₃ , K ₂ CO ₃ (осаждение ионов Ca ²⁺ и Mg ²⁺), комплексоны
Содержание жидкости	Увеличение	Добавить воду, нефть, эмульсию
	Уменьшение	Ввести повышенное количество твердой фазы или утяжелителя
Электропроводность	Увеличение	Ввести раствор электролитов (NaCl, KCl и другие соли)
	Уменьшение	Разбавить дистиллированной (или умягчённой) водой, удалить электроактивные ионы с помощью реактивов-комплексообразователей, провести ионный обмен

На основании более весомого параметра, который нуждается в корректировке, принимается решение о его изменении с помощью рекомендательной табл. 2. Например, снижение содержания песка достигается использованием виброситов или гидроциклонов, а увеличение уровня pH — добавлением кальцинированной соды или гидроксида натрия.

Таким образом, комплексная методика оценки качества бурового раствора и предложенная система расчёта и корректировки интегрального индекса IQ позволяет существенно повысить технологическую управляемость буровых процессов и уменьшить вероятность возникновения осложнений. Внедрение данной методики обеспечивает объективную оценку и своевременное реагирование как на постепенные, так и на резкие изменения в свойствах раствора, оптимизирует подбор и дозировку реагентов, автоматизирует рутинные процессы контроля и существенно влияет на экономику бурения. Это особенно важно в условиях освоения трудноизвлекаемых запасов, работы на глубоко залегающих и геологически сложных объектах. Результаты практического применения методики подтверждают увеличение надёжности,

сокращение внештатных ситуаций и повышение эффективности бурения.

Список источников

1. Бабаян Э.В., Мойса Н.Ю. Буровые растворы: учебное пособие. Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. 332 с. URL: <https://znanium.com/catalog/document?id=346097>.
2. Бруй Л.К., Шемлей Н.В., Аткинговская Т.В. Буровые и тампонажные растворы. Гомель : Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, 2019. 135 с.
3. ГОСТ 33213-2014. Контроль параметров буровых растворов в промысловых условиях. Растворы на водной основе [Текст]. Введ. 2016-04-01. Москва : Стандартинформ, 2015. 73 с.
4. API RP 13B-1 Recommended Practice for Field Testing of Drilling Fluids. Введ. 2014-08-01. American Petroleum Institute 2015. 104 с.
5. Булгакова И.К., Морозов А.Н. Использование «функций желательности» для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Экономика и управление. 2009. № 2. С. 54-56.
6. Лимарев А.С. Экспертное оценивание в квалиметрии: методические указания для выполнения практической работы. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г. И. Носова, 2010. 20 с.

Сведения об авторах

Басков Владислав Андреевич – магистрант группы ТСМм-23, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: baskov-vvvvl@mail.ru

Лимарев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры ТССА, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: aslimarev@mail.ru. ORCID 0000-0002-1499-4988

Медяник Надежда Леонидовна – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: medyanikmagnitka@mail.ru. ORCID 0000-0003-0973-8899

УДК 658.562.64

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАННОГО УРОВНЯ КАЧЕСТВА ШАРОВЫХ ШАРНИРОВ ПОСРЕДСТВОМ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕТОДИК ИСПЫТАНИЙ

Столяров Ф.А.¹, Гун Л.И.²¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск²ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», Москва

Аннотация. Формирование заданного уровня качества изделия происходит в основном на этапе проектирования его конструкции и разработки технологии его производства. Комплексные испытания шаровых шарниров, в частности испытания на герметичность, являются неотъемлемым этапом процесса проектирования и позволяют выявить недостатки конструкции. В данной статье предлагается модернизация методики испытания шарового шарнира на герметичность на базе принципов опережающей стандартизации с целью обеспечения соответствия продукции заданным требованиям и надежности в эксплуатации.

Ключевые слова: шаровой шарнир, уровень качества, долговечность в эксплуатации, герметичность, испытания, опережающая стандартизация

Известно, что качество продукции начинает формироваться на этапе получения запроса от потребителя и на стадии проектирования конструкции конечного продукта и технологического процесса его производства. Также важным аспектом обеспечения качества продукции является прохождение продукцией специальных испытаний, направленных на оценку функциональных характеристик конечного изделия.

В открытых источниках [1-3] описываются методики испытаний шаровых шарниров, позволяющих обеспечить долговечность в эксплуатации, которые заключаются в одновременном качении и вращении шарниров с приложением к ним различных нагрузок. Однако данные методики не отражают реальных условий эксплуатации и многих факторов, оказывающих влияние на долговечность шарового шарнира, а именно пониженные и повышенные температуры, влага, дорожные реагенты, твердые частицы и т.д.

Целью данной работы является обеспечение заданного уровня качества шаровых шарниров с помощью совершенствования методик испытаний, моделирующих условия эксплуатации.

Испытания шаровых шарниров на стадии разработки конструкции позволяют воспроизвести дефект и исключить причины его возникновения. Помимо этого, испытания могут выступать как один из способов обнаружения причин отказа при проведении DFMEA-анализа [4]. Некорректные или устаревшие режимы испытаний или не-

достаточные требования могут быть причиной несоответствующего уровня качества продукции.

Модернизация методик испытаний является одним из принципов опережающей стандартизации [5], так как это позволяет ужесточить требования к продукции и исключить постановку на производство несоответствующей заданному уровню качества продукции.

По опыту конвейерных поставок, оценке возвращенной продукции в гарантийный период и результатам выявления корневых причин, например посредством DFMEA-анализа (рис. 1), можно сказать, что основной причиной нарушения работы шарового шарнира шасси или рулевого управления автомобиля и выхода его из строя является потеря шарниром герметичности.

Обеспечение герметичности является наиболее важным параметром с точки зрения соответствия заданному уровню качества шаровых шарниров в эксплуатации при условии, что обеспечиваются их характеристики безопасности.

Герметичность шаровых шарниров является комплексным показателем, зависящим от сочетания множества факторов, таких как материал и геометрия защитного чехла, упругие свойства и геометрия колец, марка применяемой смазки, геометрия ответных деталей и т.д. Проверка герметичности продукции на различных стадиях проектирования сводится, как правило к нескольким коротким тестам (длительность менее 8 часов) и нескольким длинным тестам (длительность 8 часов и более) [6].

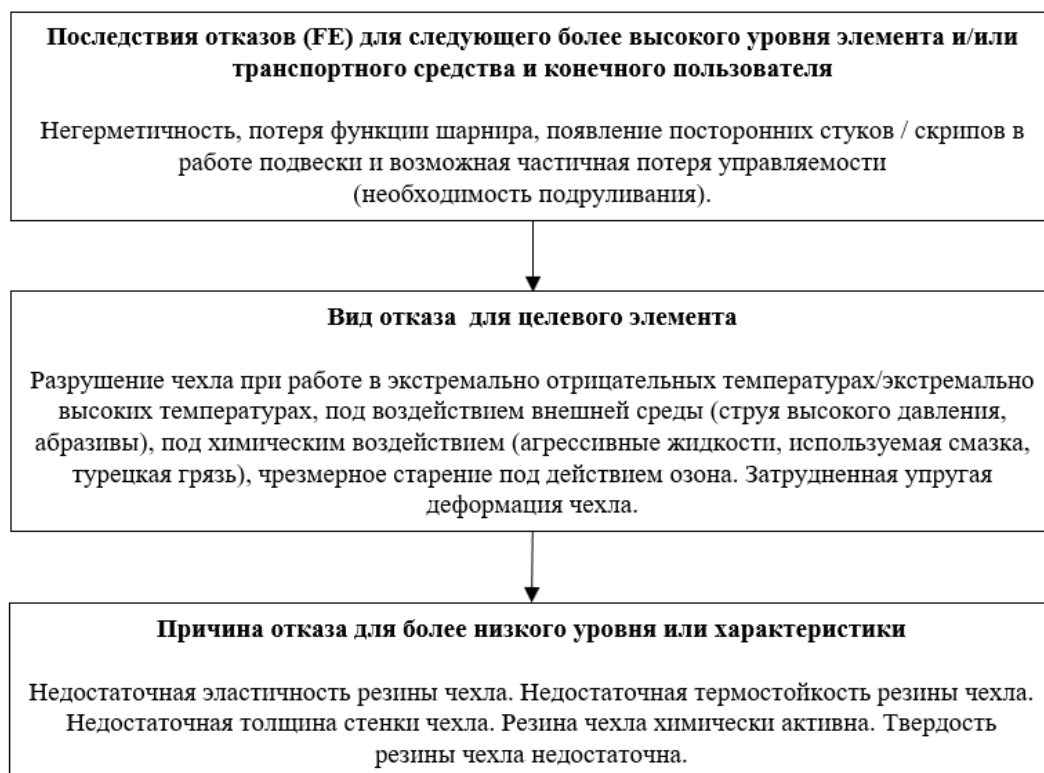


Рис. 1. Выявление корневых причин негерметичности посредством DFMEA-анализа

Короткие тесты позволяют выявить ошибки проектирования за небольшой промежуток времени и без значительных затрат на эксперимент, однако полное соответствие продукции критериям положительного результата не дает гарантий безотказной эксплуатации шарниров, в особенности в сложных дорожно-климатических условиях Российской Федерации. Длительные тесты с этой точки зрения позволяют с большей вероятностью говорить о соответствии продукта заданному уровню качества в случае их успешного прохождения. Однако большинство OEM-спецификаций и, как следствие, требований к герметичности были разработаны европейскими или американскими компаниями для европейских и американских дорожно-климатических условий [7]. Поэтому иногда при полном соответствии продукции заданным требованиям возникают серьезные проблемы в эксплуатации в сложных дорожно-климатических условиях Российской Федерации.

В связи с этим на АО НПО «БелМаг» были проведены работы по модернизации методик испытаний на герметичность. В частности, снижена минимальная температура при проведении испытаний. Данный параметр снижает упругие характеристики резины чехла, что может негативно отразиться на плотности прилегания горловин чехла в сопряжении с ответными деталями, а также приводит к увеличению сопротивления упругой

деформации гофры чехла при качании пальца. Также увеличена частота вращения и качания пальца шарового относительно корпуса. В таком случае увеличивается модуль упругости резины и сокращается время на гистерезис резины чехла и возврат его формы к начальному положению [8]. В этом случае также повышается риск возникновения щели между горловиной чехла и ответной деталью. Также при увеличении частоты движения и числа циклов повышается риск износа горловины чехла.

В табл. 1 приведены результаты модернизации конструкции уплотнительной системы шарового шарнира на основании модернизации режимов испытаний шаровых шарниров на герметичность.

Таблица 1

Схема модернизации уплотнительной системы шарниров на основе модернизации методик испытаний

Тип испытываемой конструкции	Тип методики испытания	
	Стандартная методика	Модернизированная методика
Старая конструкция	Требование выполнено	Требование НЕ выполнено
Модернизированная конструкция	Требование выполнено	Требование выполнено

По результатам проведенных работ и совершенствования конструкции уплотнительной системы шарниров стоек стабилизатора на основе модернизированной методики испытаний на герметичность был снижен уровень дефектности продукции в поставках на третий год эксплуатации, как наиболее массовый с точки зрения заявленных рекламаций, до целевых показателей заказчика (рис. 2).

По результатам работы можно сделать вывод о том, что модернизированная методика испытаний на герметичность обязывает разрабатывать конструкцию шарнира, которая будет обеспечивать заданный уровень качества продукции и долговечность в эксплуатации.

Список источников

1. Верняев М.А., Филькин Н.М., Шакуров Д.К. Расчетные исследования шаровой опоры подвески автомобиля при повышении ее ресурса // Леса России и хозяйство в них. 2012. № 1-2(42-43). С. 22-23.
2. Разработка, моделирование и совершенствование процессов производства шаровых шарниров автомобилей / И.Г. Гун, И.А. Михайловский, Д.С. Осипов [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1(45). С. 52-57.
3. Novikov, A N; Eremin, S V; Shevtsova, A G . (2020). New Way To Determine The Technical Condition Of Ball Joints. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 786(), 012079–.
4. Афанасьева О.В., Носова В.А. Анализ качества и причин отказов дизелей на основе метода DFMEA // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике : сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2022 года / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург: ООО «Медиапапир», 2022. С. 80-87.
5. Полякова М.А., Касаткина Е.Г., Снимщиков С.В. Использование принципа опережающей стандартизации при разработке стандарта на металлопродукцию // Технологии металлургии, машиностроения и материалобработки. 2018. № 17. С. 158-163.
6. AK-LH 14 Suspension ball joint. Requirements and testing. Working Committee: AUDI BMW Daimler Chrysler Porsche Volkswagen, 2004. 34 p.
7. 31-05-123 Environmental sealing test procedure. Sealing bellows function test, Renault, 2007, 13 p.
8. Семенов В.К., Белкин А.Е. Экспериментальное исследование гистерезисных свойств протекторных резин в условиях циклического нагружения, характерного для автомобильных шин // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2013. № 2. С. 9-14.



Рис 2. Результаты внедрения модернизированной методики испытания на герметичность

Сведения об авторах

Столяров Федор Алексеевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: stolyarov.f.a@yandex.ru. ORCID 0000-0001-7785-8417

Гун Лев Игоревич – студент, ФГАОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана», г. Москва. E-mail: gun.leva@mail.ru. ORCID 0009-0000-0222-0363

УДК 378.1

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ СТУДЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Питько О.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ"», Новосибирск

Аннотация. Статья посвящена изучению вопроса психологического здоровья студентов во время пандемии. В работе рассмотрены преимущества удаленного обучения для студентов. Материалы статьи могут быть использованы для разработки профилактических программ, направленных на сохранение ментального благополучия студентов в кризисных ситуациях.

Ключевые слова: COVID-19, психологическое здоровье, студенты-первокурсники, дистанционное обучение, тревожность, адаптация, высшее образование

В современных социально-экономических условиях высшее образование приобретает ключевое значение как ресурс успешной адаптации и профессиональной самореализации личности. Как отмечают исследователи, «условия, сложившиеся в современном обществе, требуют формирования определённого типа личности выпускника – яркой, самобытной и непохожей на других» [1].

Кроме того, качество высшего образования выступает важнейшим фактором обеспечения устойчивого развития национальной экономики, что напрямую влияет на конкурентоспособность государства в условиях глобальной цифровой трансформации. В данном контексте необходимо отметить, что «специалисты по продвижению пользуются самыми высокоперспективными методами продвижения» [2] для повышения привлекательности высшего образования. Для продвижения образовательной услуги становится важным «предоставлять максимально подробную информацию о своём продукте в социальных сетях, на сайте и так далее» [3].

В начале 2020 года мир впервые столкнулся с масштабным распространением ранее неизвестного вируса SARS-CoV-2, а также с вызываемой им острой респираторной инфекцией COVID-19. Данная пандемия привела к крупнейшему за всю историю нарушению функционирования систем образования по всему миру, затронувшему более полутора миллиарда учащихся. Образовательные учреждения были вынуждены закрываться на карантин, переводя персонал и обучающихся на удалённый формат обучения, что усугубило существовавшую и ранее проблему неравенства в сфере образования.

Нельзя не отметить, что вынужденный переход на дистанционное обучение послужил толчком для совершенствования существующих технологий и развития инноваций в сфере образования. Внедрение современных технологий в образовательный процесс делает последний более гибким и способным подстраиваться под любого обучающегося, обеспечивая ему свободу в обучении. Они «оценили достоинства всемирной паутины, с помощью которой можно решить многие задачи общества» [4].

Рассмотрим преимущества удаленного обучения для студентов.

Гибкость и удобство

Возможность самостоятельно планировать график занятий, совмещая учебу с работой или личными делами.

Обучение из любой точки мира без необходимости ежедневно посещать вуз, что особенно важно для иногородних и студентов с ограниченными возможностями.

Доступ к образовательным ресурсам

Широкий выбор онлайн-курсов, электронных библиотек и мультимедийных материалов.

Возможность пересматривать лекции в записи для лучшего усвоения материала.

Развитие цифровых компетенций и самоорганизации

Приобретение навыков работы с современными технологиями, онлайн-платформами и инструментами удаленной коммуникации.

Формирование самодисциплины, тайм-менеджмента и ответственности за собственный образовательный процесс.

Снижение финансовых и временных затрат

Экономия на транспорте, аренде жилья и других сопутствующих расходах.

Оптимизация времени за счет отсутствия необходимости перемещаться между корпусами.

Индивидуализация обучения

Возможность выбирать темп изучения материала, уделяя больше времени сложным темам.

Доступ к персонализированным образовательным траекториям и курсам от ведущих университетов мира.

Безопасность и комфорт

Снижение риска заражения инфекционными заболеваниями (актуально в периоды эпидемий).

Обучение в привычной и психологически комфортной обстановке.

Итак, дистанционное обучение предоставляет студентам новые возможности для получения знаний, развивает важные soft skills (мягкие навыки) и способствует более эффективному использованию ресурсов. Однако его успешность во многом зависит от уровня мотивации обучающихся и качества организации учебного процесса.

В ходе удаленной учебы можно использовать различные инструменты и технологии для коммуникаций и реализации учебного процесса:

- инструменты управления проектами и планирования, например Workboard и Asana;
- инструменты видеоконференцсвязи, например Zoom или Pruffme;
- инструменты управления проектами и координации командной работы, например Trello и др.

Анализируя множественные исследования по проблемам дистанционного обучения в вузах в период пандемии, можно выделить несколько типов проблем: технические, методические и пр., однако наиболее остро стоит проблема психологического здоровья обучающихся.

Психологическое здоровье – это состояние душевного благополучия, комфорта, адекватное отношение к окружающему миру, отсутствие болезненных психических явлений (фобий, стрессов, неврозов). Студенты, проживающие в общежитиях или на съёмных квартирах вдали от родственников, а также нередко совмещающие учёбу с работой, более подвержены возникновению психологических проблем, нежели, например, учащиеся школ. Это «может проходить как без внешних проявлений, так и с выраженными внешними проявлениями, такими как изменение поведения, агрессивность, потребность в уединении, отрыв от реальности, избегание контактов, иррациональная система коммуникации и деятельности» [5]. Особенно подвержены возникновению стрессов в связи с переходом на дистанционное обучение студенты первых курсов, ещё полностью не завершившие адаптацию к процес-

су обучения в вузе, но уже вынужденные адаптироваться к обучению в удалённой форме.

Дистанционное обучение оказывает неоднозначное влияние на психологическое здоровье студентов. С одной стороны, оно предоставляет такие преимущества, как гибкость графика, снижение финансовых затрат и возможность обучения в комфортной среде. С другой стороны, отсутствие живого взаимодействия с преподавателями и одногруппниками, необходимость высокой самоорганизации и постоянная работа в цифровой среде могут способствовать росту тревожности, стресса и эмоционального выгорания.

Особую группу риска составляют студенты-первокурсники, испытывающие трудности адаптации к новой образовательной среде. Для минимизации негативных последствий необходима системная поддержка, включающая психологическое сопровождение, развитие цифровой грамотности и внедрение интерактивных форм обучения, способствующих социализации.

Таким образом, сохранение психологического благополучия студентов в условиях дистанционного обучения требует комплексного подхода, сочетающего технологические, педагогические и психологические меры. Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на разработку эффективных стратегий профилактики стресса и повышения мотивации в цифровой образовательной среде.

Список источников

1. Питько О.А. Взаимодействие бизнеса и вуза в условиях подготовки специалиста по рекламе // Экономика и предпринимательство. 2023. № 3 (152). С. 1003-1006.
2. Питько О.А. Интернет-продвижение коммерческой организации на потребительском рынке // Экономика и предпринимательство. 2020. № 12 (125). С. 823-827.
3. Питько О.А. Особенности влияния лидеров мнений на потребительское поведение // Экономика и предпринимательство. 2021. № 11 (136). С. 1110-1114.
4. Питько О.А. Психологический аспект зависимости пользователей от сети интернет // Традиционные национально-культурные и духовные ценности как фундамент инновационного развития России. 2014. № 1. С. 54-58.
5. Питько О.А., Тупикина Д.В. Психология одиночества: теоретические аспекты изучения // Психологическое благополучие современного человека: материалы Международной заочной научно-практической конференции. Уральский государственный педагогический университет / Отв. ред. С. А. Водяха. Екатеринбург, 2018. С. 115-121.

Сведения об авторах

Питько Ольга Александровна – кандидат философских наук, доцент кафедры маркетинга, рекламы и связей с общественностью, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления "НИНХ"», г. Новосибирск. E-mail: pitko-olga@mail.ru. ORCID 0000-0001-6063-8514

УДК 372

ВСЕСТОРОННЕЕ РАЗВИТИЕ ЛИЧНОСТИ ЧЕРЕЗ ВНЕУРОЧНУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПО МАТЕМАТИКЕ

Сергеева Е.В.¹, Сергеева Д.Д.²¹ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск²ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», Москва

Аннотация. В формировании и развитии всесторонне развитой личности в школе одну из ключевых ролей играет внеурочная деятельность. В работе рассматривается внеурочная деятельность по математике. Внеурочная деятельность по математике, кроме расширения знаний по предмету и подготовки к олимпиадам и конкурсам, формирует интерес к предмету математика, развивает логическое мышление ребят, готовит их к проектной деятельности, учит работать в команде. Если на уроках многие школьники воспринимают математику как сухую и абстрактную науку, то на внеурочных мероприятиях ребята видят необходимость и нужность математики в различных сферах. Решение логических математических задач, поиск оригинальных методов и подходов в решении развивает творческое мышление и воображение ребят. У школьников развиваются коммуникативные навыки, приобретается опыт работы в группах, они учатся вести дискуссии и аргументировать свою позицию. Внеурочная деятельность по математике является нужным дополнением к основному образовательному процессу, так как помогает всесторонне развивать учащихся.

Ключевые слова: математика, внеурочная деятельность, личность, развитие личности, проект

Современное общество требует от школы всестороннего развития каждого школьника. И школа старается выпустить образованных и воспитанных людей, которые будут успешными и счастливыми в жизни.

В современном мире очень сложно стать успешным человеком без хорошо развитой коммуникативной компетентности. Коммуникативная компетентность – это актуальная на сегодня способность работать в команде, умение налаживать контакты, вести переговоры, уметь слушать и слышать людей, умение вступать в дискуссии и аргументированно отстаивать свою точку зрения [1].

В развитии коммуникативной компетентности школьников нам может помочь внеурочная деятельность.

Внеурочная деятельность по математике является обязательным и необходимым элементом образовательного процесса. Она расширяет и дополняет знания ребят, полученные на уроках, развивает интерес к математике. Внеурочная деятельность развивает компетенции и качества личности учеников. Она помогает изучить дополнительный материал, не входящий в учебную программу математики, и позволяет ребятам заниматься математикой в неформальной творческой обстановке.

Целью внеурочной деятельности по математике мы видим развитие интереса к математике, расширение кругозора учащихся, развитие логики, математического мышления, исследовательских навыков, формирование компетенций в применении математических знаний на практике. Кроме этого, формирование и развитие коммуникативных навыков, умения работать в команде и уметь представлять свой продукт перед ребятами.

Среди задач внеурочной деятельности можно выделить:

- 1) развитие математической устной и письменной речи, математической культуры;
- 2) привлечение учеников к исследовательской и проектной деятельности по математике;
- 3) вовлечение ребят к участию в олимпиадах и конкурсах по математике;
- 4) развитие интереса и положительной мотивации к изучению математики.

То есть в целом создание благоприятных условий для развития индивидуальных способностей и талантов ребят в области математики.

Внеурочная деятельность по математике развивает такие личностные качества, как:

- 1) настойчивость в достижении цели, умение преодолевать трудности;
- 2) навыки самоорганизации, умение планировать свое время и свою работу;
- 3) умение работать в команде, навыки сотрудничества и взаимопомощи;

4) повышает самооценку, развивает уверенность в себе;

5) занятия математикой в игровой форме мотивирует к дальнейшему изучению математики, повышает интерес к предмету, стимулирует развитие кругозора ребят.

Во время внеурочной деятельности ребята знакомятся с различными профессиями, применяющими математические знания и навыки, тем самым расширяя свой кругозор. Решение прикладных задач и участие в проектах, связанных с реальными жизненными ситуациями, помогает учащимся осознать практическую ценность математики и сделать правильный выбор будущей профессии.

Внеурочная деятельность по математике развивает различные личностные качества, но в первую очередь развивает их интеллект, а также различные виды мышления:

- Логическое мышление. Решая логические задачи, головоломки, анализируя различную информацию, делая выводы и строя предположения, у ребят развивается логическое мышление.

- Пространственное мышление. Задания по геометрии с пространственными объектами хорошо развивают пространственное воображение школьников, поэтому нужно включать такие задания в работу.

- Критическое мышление. Ребята учатся оценивать информацию, анализировать ответ, ищут ошибки в своих рассуждениях при работе над заданиями, работе над проектами, это все развивает их критическое мышление.

- Алгоритмическое мышление. При решении многих заданий по математике необходимо сначала представить алгоритм, план своей работы над заданием, а старшеклассники еще и строят математические модели реальных процессов. Все это развивает алгоритмическое мышление.

- Креативное мышление. Решая нестандартные задачи и выполняя творческие проекты, у школьников развивается воображение, появляются новые идеи, и развивается креативное мышление в целом.

Внеурочная деятельность по математике может принимать различные формы, например:

- математические кружки (по решению олимпиадных задач, истории математики, углубленному изучению отдельных разделов по математике);

- кружки по подготовке к математическим олимпиадам, конференциям и конкурсам;

- сами математические конференции (где ученики представляют свои исследовательские работы);

- математические недели и декады (способствуют повышению интереса к предмету и развитию логического мышления);

- различные математические конкурсы, игры, викторины на параллель или между параллелями классов;

- смены в загородном детском лагере во время каникул с математическим уклоном (позволяет ребятам заниматься математикой в увлекательных формах);

- углубленные занятия по математике с одарёнными детьми (подготовка их к участию в олимпиадах и конкурсах высокого уровня);

- математические проекты (разработка проектов по разделам математики или межпредметных проектов, или проектов на прикладное значение математики в жизни).

Особо хочется остановиться на проектной деятельности школьников. Мы активно используем проекты в своей внеурочной работе по математике. Ребята создают индивидуальные и групповые проекты.

Мы на своих занятиях под *проектом* понимаем творческую работу учащегося, выполненную по заданной теме самостоятельно, но под контролем педагога [2, с. 267].

Учащиеся любят творить и процесс проектирования им в этом помогает. Ученики осознают проблемную ситуацию, поставленную перед ними, ищут оптимальное решение данной проблемы, тем самым овладевая новыми знаниями [3]. Учитель, при работе над проектами, является консультантом для школьников, он направляет их работу в правильное русло, но работу ребята делают самостоятельно. Ребятам сообщается тема проекта. Все остальное – структуру проекта, какие важные вопросы данной темы осветить, порядок и форма изложения материала, объем проекта – все это разрабатывает сам учащийся. Школьникам особо нравится работать над коллективными проектами, когда учащиеся разрабатывают проекты в парах, в небольших группах. Это связано с тем, что в подростковом возрасте особенно остро проявляется жажда общения у ребят. При этом учащиеся учатся работать в команде, что является очень важным навыком на сегодняшний день. Работа над проектом стимулирует развитие у учащихся таких мыслительных операций, как анализ, сравнение, синтез, обобщение, а также умение делать выводы, отстаивать свою позицию при защите проекта [4].

Одной из любимых тем проектной деятельности для учеников является «Теория вероятностей», по ней ребята всегда делают много проектов. Наиболее интересные темы проектов ребят

по математике: «Как вытянуть счастливый билет на экзамене?», «Нужна ли математика полицейскому?», «Можно ли выиграть в лотерею?», «Математика в футболе», «Игра теннис и теория вероятностей», «Могу ли я обыграть казино», «Математика в рекламе», «Математика в лоскутной технике», «Необычные фигуры в нашем мире», «Математика в звездном небе» и т.д.

В организации внеурочной деятельности необходимо придерживаться следующих принципов:

- участие учащихся должно быть добровольным, согласовываться с их способностями и интересами;

- внеурочные мероприятия должны способствовать развитию творчества и самостоятельности учеников;

- внеурочные мероприятия должны иметь практическую направленность, отражать связь с жизнью;

- дополнительные занятия должны проводиться регулярно, а не от случая к случаю;

- для внеклассных мероприятий необходимо использовать современные компьютерные технологии и программы, наглядный материал.

Из всего вышесказанного можем сделать выводы.

Внеурочная деятельность по математике – важный обязательный элемент современного школьного образования. Она помогает ученикам расширить свои знания по математике, развить логику, творческие способности, увидеть применение математики в различных областях науки и жизни, и в целом подготовиться к будущей успешной профессиональной деятельности. Она является важным инструментом для формирования и развития всесторонне развитой гармоничной личности. Внеурочная деятельность по математике способствует развитию интеллекта школьников, формирует и развивает их ключевые компетентности. Она способствует развитию их личностных качеств, помогает определиться с будущей профессиональной деятельностью. Вне-

урочная деятельность позволяет ребятам проявить себя, показать свои лидерские качества, а в подростковом возрасте это особенно важно.

Продуманная организация внеурочной деятельности по математике помогает раскрыть таланты и наклонности многих учеников, мотивирует их и дальше интересоваться математикой, «закладывает фундамент» успешной взрослой жизни в современном обществе.

Внеурочная математическая деятельность должна и дальше успешно развиваться по разным направлениям, это одна из задач современного школьного образования.

Список источников

1. Сергеева Е.В. Развитие коммуникативных навыков студентов при изучении математики // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2024. С. 427. EDN OJKLVU.
2. Сергеева Е.В. Дистанционное обучение при изучении математики // Проблемы современного педагогического образования. 2019. № 62 -1. С. 266-268. EDN YYHZZL.
3. Сергеева Е.В. Развитие медиакомпетентности студентов на занятиях математики // Проблемы современного педагогического образования. 2023. № 78-2. С. 235-237. EDN DHCUUW.
4. Sergeeva E.V. The Importance of Mathematics for Future Architects and Civil Engineers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Science and Technology Conference "FarEastCon 2019", Vladivostok, Russky Island, 01–04 октября 2019 года. Vladivostok, Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 052024. DOI 10.1088/1757-899X/753/5/052024.
5. Сиденко А.С. Метод проектов: история и практика применения // Завуч. 2003. № 6. С. 96-111.
6. Чечель И.Д. Исследовательские проекты в практике школы // Управление исследовательской деятельностью педагога и учащегося в современной школе. М.: Сентябрь, 1998. С. 83-128.

Сведения об авторах

Сергеева Елена Владимировна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sew1108@yandex.ru

Сергеева Дарья Денисовна – студент группы ПМ-22-2, ФГОБУ ВО «Финансовый университет при Правительстве РФ», г. Москва. E-mail: dashaamelin@yandex.ru

УДК 530.145

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЁХФОТОННОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ОТ ТРЁХ НЕЗАВИСИМЫХ ОДНОФОТОННЫХ ИСТОЧНИКОВ В РАМКАХ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ ФОТОНА

Давыдов А.П., Файзрахманов Н.Р.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. Проведено численное моделирование трёхфотонной интерференции с помощью 6-компонентной координатной волновой функции фотона в рамках квантовой механики в предположении, что каждый из трех однофотонных источников синхронно излучает фотон наиболее вероятно в своем соответствующем направлении на заданную точку Р на экране. Наиболее вероятное направление излучения моделировалось гауссовским импульсным распределением волновых пакетов. Моделирование проведено для излучения с длиной волны 0,05 см, длительностью 4 пс, расстояния между источниками 0,25 см, расстояния от источников до экрана 0,906 см. Для изучения временной эволюции интерференционной картины выбраны три момента времени ее «наблюдения» на экране: 30,2, 32,2 и 34,2 пс. Приводятся графики плотности вероятности обнаружения фотона в зависимости от положения точки Р на экране.

Ключевые слова: трёхфотонная интерференция, волновая функция фотона, плотность вероятности, волновой пакет, однофотонный источник, опыт Юнга, квантовая механика

В современных направлениях фотоники отдельные фотоны излучаются, передаются на большие расстояния и детектируются во многих явлениях и устройствах, например при осуществлении квантовой телепортации, квантовой криптографии, квантовых вычислений. В ходе анализа соответствующих процессов фотоны ассоциируются в виде некоторых распространяющихся локализованных состояний, условно называемых волновыми пакетами, которые при взаимодействии между собой или со структурой конденсированного вещества проявляют дифракцию, интерференцию и поляризацию. Часто такие волновые пакеты мыслятся на основе представлений классической электродинамики. Однако описание отдельных фотонов с помощью напряженностей электромагнитного поля неправомерно в силу отсутствия в эксперименте наблюдения пространственно-временного распределения энергии и импульса фотонов. Поэтому локализованные волновые пакеты, сопоставляемые фотонам, должны быть представлены соответствующими координатными волновыми функциями.

Однако необходимый аппарат квантовой механики отдельных фотонов до сих пор до конца не развит и не является общепринятым. В частности, в квантовой оптике применяется «вторичное» (без «первичного») квантование электромагнитного поля, в котором координатная волновая функция

фотона (ВФФ) отсутствует как понятие. Поэтому для объяснения однофотонной интерференции, даже в наиболее «элементарном» случае – опыте Юнга, используются или методы квантовой электродинамики, или, для общего описания, – Фейнмановский метод [1] с помощью амплитуд перехода, исходящий из квантования путём континуального интегрирования. Полагается, что этот метод эквивалентен копенгагенской квантовой механике, хотя явно ей противоречит, так как, согласно последней, у частицы не может быть одновременно определенных значений импульса и координаты [2], а значит, траектории. С другой стороны, эквивалентность копенгагенской и фейнмановской интерпретации квантовой механики основывается на утверждении, что интеграл Фейнмана по траекториям сводится к уравнению Шредингера. Однако свободный фотон описывается гораздо более сложным уравнением движения (см., например, [3]) для комплексной 6-компонентной ВФФ. Поэтому становится актуальным выяснить, будет ли эквивалентным описание интерференции от трех щелей [4], с учетом вклада так называемых «экзотических» траекторий в фейнмановском формализме и в нашем – с помощью 6-компонентной ВФФ в координатном представлении.

С этой целью на первоначальном этапе в [5] проведено численное моделирование однофотонной интерференции в результате прохождения фотоном трех малых (точечных) отверстий, наблю-

даемой на экране в предположении, что каждое отверстие является точечным источником, испускающим фотоны «направленным» излучением в каждую интересующую точку P на экране, с теми же параметрами геометрии мысленного опыта и излучения, что и в данной статье, кроме момента времени «наблюдения» интерференционной картины, который в [5] был выбран равным 31,2 пс. Результаты работы [5] подтвердили выводы предыдущих исследований [6–11] о том, что однофотонная и двухфотонная интерференция может быть описана, наряду с 6-компонентной ВФФ, также с помощью более простых 1-компонентных «квазиклассических» волновых функций.

Это дает возможность ассоциировать данные координатные волновые функции с измеряемыми

ВФФ в некоторых экспериментах, например в [12–16].

На рис. 1 показана геометрия расположения трех однофотонных источников S относительно точки P на экране. На рис. 2 приведены результаты численных расчетов интерференционной картины для трех моментов времени, указанных выше. Конкретные формулы, используемые при моделировании, приведены в [5, 6, 11].

Как видно из рис. 2, с течением времени происходит расплывание волнового пакета по горизонтали с затуханием центральных пиков и относительным усилением крайних пиков (интерференционной плотности вероятности), по мере того как волновой пакет «пролетает» область расположения экрана.

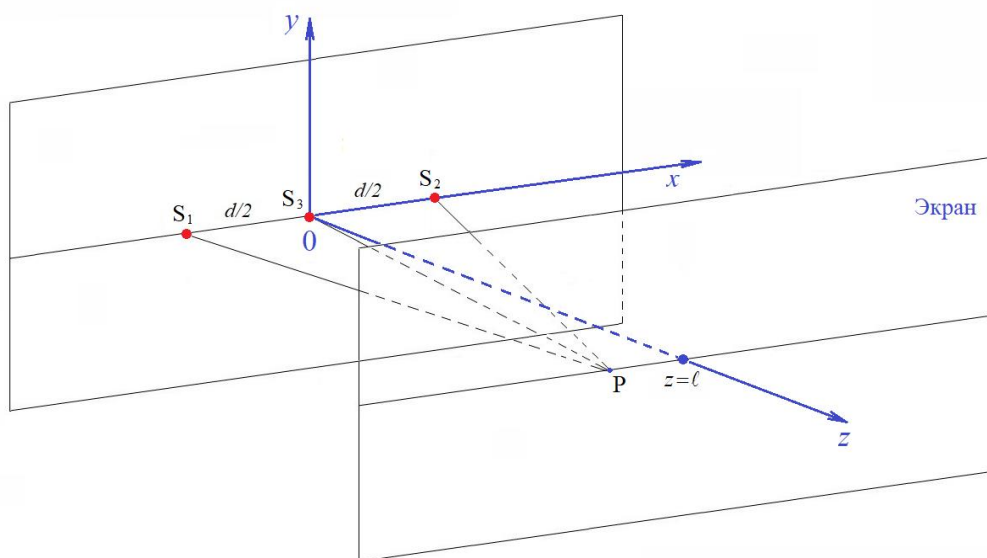


Рис. 1. Схематическое изображение мысленного трехфотонного опыта Юнга

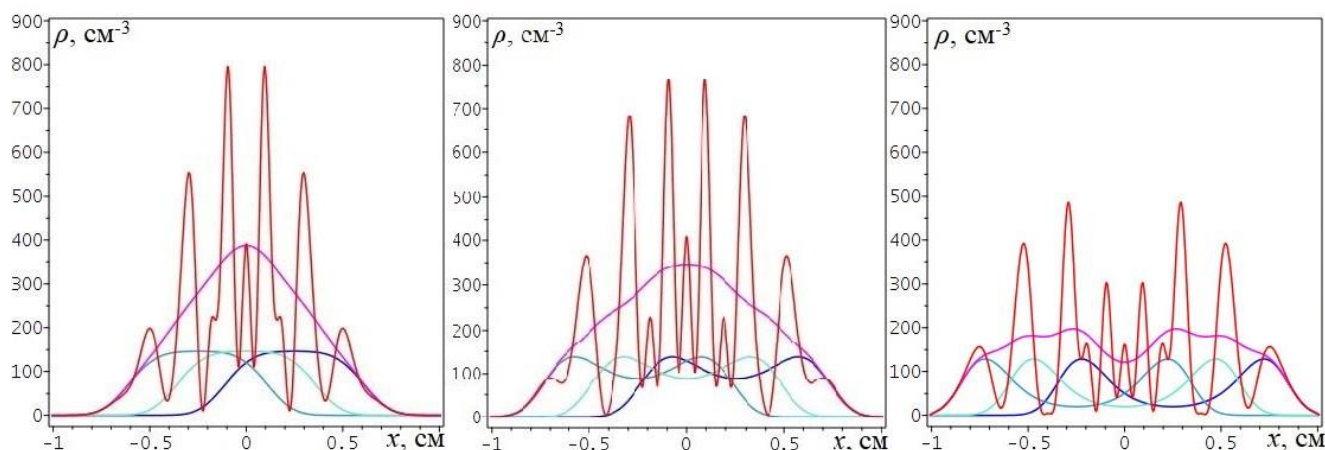


Рис. 2. Плотность вероятности для трёхфотонной интерференции (красная линия – результат интерференции от трех однофотонных источников; фиолетовая линия — «арифметическая» сумма всех плотностей вероятности; синяя, голубая, бирюзовая линии — плотность вероятности от каждого из источников)

Проведенное моделирование дополнительно аргументирует возможность использования 6-компонентной координатной ВФФ для описания 1-, 2- и 3-фотонных интерференционных явлений. Особенно важен этот вывод для 2- и 3-фотонных явлений, поскольку, например, при осуществлении квантовой телепортации требуется контролировать перемещение связанных фотонов. Также трехфотонная интерференция может иметь место как сопутствующее явление при работе квантовых компьютеров, что потребует адекватного ее описания.

Список источников

1. Feynman R.P., Leighton R.B., Sands M. The Feynman Lectures on Physics: Quantum Mechanics, Vol. 3. Reading, MA: Addison-Wesley, 1965.
2. Балашов В.В., Долинов В.К. Курс квантовой механики. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982.
3. Давыдов А.П. Волновая функция фотона в координатном представлении: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. 180 с.
4. Magaña-Loaiza O.S., Mirhosseini M., McIntyre B. [et al.] Exotic looped trajectories of photons in three-slit interference // Nat. Commun. 2016. Vol. 7. P. 13987.
5. Давыдов А.П., Файзрахманов Н.Р. Объяснение однофотонной интерференции в трехщелевом опыте Юнга в рамках квантовой механики фотона // Современные достижения университетских научных школ: сб. докл. нац. науч. школы-конф. Магнитогорск: Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 115-121.
6. Давыдов А.П., Файзрахманов Н.Р. Описание опыта Юнга в рамках координатной «квазиклассической» волновой функции фотона на фоне численного моделирования с помощью координатной двухфотонной волновой функции // Современные достижения университетских научных школ: сб. докл. нац. науч. шк.-конф. Вып. 7. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2022. С.155-160.
7. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Моделирование двухфотонного опыта Юнга в рамках квантовой механики фотона и в квазиклассическом подходе в электрическом дипольном приближении // Инженерная физика. 2022. № 6. С. 15-23.
8. Davydov A.P., Zlydneva T.P. On numerical modeling of the Young's experiment with two sources of single-photon spherical coordinate wave functions // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 424. P. 327-335.
9. Davydov A.P., Zlydneva T.P. The Young's interference experiment in the light of the single-photon modeling of the laser radiation // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM 2016) [Электронный ресурс]. Tomsk: Atlantis Press, 2016. P. 208-215. URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/itsmssm-16/25856147> (accessed: 01.06.2025).
10. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Моделирование волновой функции фотона в электрическом дипольном приближении // Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: сб. науч. ст. II Всерос. науч. конф. Тольятти: Издатель Качалин А.В., 2019. Ч. 1. С. 136-144.
11. Давыдов А.П., Файзрахманов Н.Р. Моделирование одно- и двухфотонной интерференции с помощью квазиклассической волновой функции фотона в электродипольном приближении и в терминах амплитуд Фейнмана // Современные достижения университетских научных школ: сборник докладов национальной научной школы-конференции, Вып. 8. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2023. С. 154-159.
12. Smith B.J., Killelt E., Raymer M.G., Walmsley I.A., Banaszek K. Measurement of the transverse spatial quantum state of light at the single-photon level // Opt. Lett. 2005. Vol. 30. P. 3365-3367.
13. Lundeen J., Sutherland B., Patel A., Stewart C., Bamber C. Direct measurement of the quantum wavefunction // Nature. 011. Vol. 474. P. 188-191.
14. Mirhosseini M., Magaña-Loaiza O.S., Boyd R.W., Hashemi Rafsanjani S.M. Compressive direct measurement of the quantum wave function // Physical Review Letters. 2014. Vol. 113. No. 9. P. 090402.
15. Chrapkiewicz R., Jachura M., Banaszek K., Wasilewski W. Hologram of a single photon // Nature Photonics. 2016. Vol. 10. No. 9. P. 576-579.
16. Lam B., Elkabbash M., Zhang J., Guo C. Spatial Wavefunction Characterization of Femtosecond Pulses at Single-Photon Level // Research. 2020. Vol. 2020. P. 2421017.

Сведения об авторах

Давыдов Александр Петрович – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ap-dav@yandex.ru. ORCID 0000-0002-2819-3372

Файзрахманов Николай Рафаилович – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: nikolya_romanov_1998@mail.ru. ORCID 0000-0002-8525-8478

УДК 004.94

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ НА ПРОИЗВОДСТВЕ: ПРЕИМУЩЕСТВА, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Москвина Е.А., Белоусова И.Д., Москвин Д.А., Бузуева М.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье рассматривается вопрос актуальности разработки и внедрения цифровых двойников в производственные процессы. Авторами выделены преимущества применения цифровых двойников на производстве, выявлены проблемы, возникающие при их использовании, а также обозначены перспективы их применения в производственной среде.

Ключевые слова: цифровизация, технология, модель, цифровой двойник, производственный процесс, эффективность производства, кибербезопасность

Цифровые двойники – это виртуальные модели физических объектов, процессов или систем, которые обеспечивают их цифровое представление в реальном времени [1]. В последние годы их внедрение в промышленность стало важной вехой на пути к «умному» производству, оптимизации процессов и повышению производственной эффективности.

В настоящее время внедрение цифровых двойников на производстве становится ключевым элементом для повышения эффективности, снижения рисков и затрат, улучшения качества продукции. Эти модели позволяют в реальном времени мониторить состояние оборудования, предсказывать поломки, оптимизировать производственные процессы и ускорять внедрение инноваций. Актуальность их применения обусловлена развитием технологий больших данных и искусственного интеллекта, что дает возможность создания более точных и надежных цифровых реплик для принятия обоснованных решений [1, 2].

Ключевые преимущества цифровых двойников в производственной сфере определяются следующими аспектами:

1. Реальный мониторинг и предиктивная аналитика: цифровые двойники обеспечивают непрерывный контроль за оборудованием с возможностью прогнозирования его состояния. Благодаря датчикам, передающим данные на виртуальную модель, производственные системы получают возможность предупреждать потенциальные сбои, своевременное проведение профилактических работ, снижение аварийных ситуаций на 40-60%, увеличение ресурса оборудования на 20-30%.

2. Повышение эффективности производственных операций: виртуальное моделирование позволяет выявлять узкие места в технологических цепочках, тестировать оптимизационные решения без остановки производства, сокращать затраты на сырье и энергоносители на 15-25%, увеличивать общую производительность на 10-20%.

3. Ускорение инновационных процессов: цифровые копии обеспечивают безопасное тестирование новых технологических решений, минимизацию рисков при внедрении инноваций, сокращение сроков разработки новых продуктов на 30-50%, возможность виртуального прототипирования.

4. Совершенствование кадрового потенциала: использование цифровых копий для обучения дает возможность использовать реалистичные тренажеры для операторов, снижение количества ошибок персонала на 35-45%, быструю адаптацию новых сотрудников, подготовку к нештатным ситуациям.

5. Укрепление рыночных позиций: повышение конкурентоспособности предприятия за счет внедрения цифровых технологий обеспечивает ускорение вывода продукции на рынок на 20-40%, повышение качества выпускаемой продукции, гибкость в условиях меняющегося спроса, лидерские позиции в цифровой трансформации отрасли [1, 3].

Данные преимущества делают цифровые двойники стратегическим инструментом для современных производственных предприятий, позволяя достигать значительных конкурентных преимуществ.

Формирование цифровых двойников базируется на комплексных технологических подходах. Основу процесса составляет трехмерное моделирование и сканирование, которые включают в себя применение лазерных сканирующих устройств, ис-

пользование методов фотограмметрии, специализированное программное обеспечение для построения 3D-моделей. Результатом использования данных технологий является получение детальных геометрических параметров реальных объектов.

Обеспечение максимального соответствия виртуальной копии оригиналу способствуют: интеграция данных проектирования, использование информации из CAD/CAM-систем, импорт инженерных моделей в цифровую среду [2].

Специализированные программные платформы предоставляют инструменты для управления двойниками, дают возможности интеграции разнородных данных, создают функционал для создания интерактивных интерфейсов и являются средством проведения компьютерных симуляций.

Данные технологические компоненты образуют единую систему, позволяющую создавать и эффективно использовать цифровые двойники в различных отраслях промышленности. Современные решения обеспечивают высокую точность виртуальных копий и их постоянную синхронизацию с физическими объектами.

Цифровые двойники дают огромные преимущества, но требуют продуманного внедрения. Необходимо учитывать безопасность, точность данных и этические нормы, чтобы технология приносила пользу без вреда [4].

При использовании цифровых двойников возникают определённые проблемы, требующие их решения.

Во-первых, технологические сложности, которые включают в себя проблемы интеграции с существующей инфраструктурой, а именно несовместимость с устаревшими промышленными системами, трудности синхронизации данных между физическим объектом и его цифровой копией, а также необходимость модернизации всего производственного цикла для эффективного использования.

Отдельно нужно выделить требования к вычислительным ресурсам: огромные объёмы данных для обработки в реальном времени, необходимость мощных серверных ферм и облачных решений, высокое энергопотребление и связанные экологические проблемы, трудности оцифровки сложных физических процессов.

Во-вторых, это финансовые барьеры, включающие в себя высокую стоимость внедрения, длительный срок окупаемости инвестиций, скрытые расходы, связанные с необходимостью регулярного переобучения моделей, постоянными затратами на обслуживание и обновление, а также расходами на кибербезопасность и защиту данных. Отдельно нужно выделить сложность внедрения цифровых двойников для малого бизнеса:

технология остается доступной только для крупных корпораций, поскольку отсутствуют готовые решения «под ключ» для средних предприятий.

В-третьих, это, конечно, кадровые проблемы, обусловленные, с одной стороны, дефицитом квалифицированных специалистов, а с другой – сопротивлением персонала, трудностями адаптации организационной структуры, неготовностью руководства к цифровой трансформации.

В-четвертых, правовые и этические вопросы, связанные с правовым статусом цифровых копий и их юридической силы, отсутствием единых стандартов и нормативов, неопределенностью в вопросах ответственности за решения, принятые на основе цифровых двойников. Здесь же важно решать вопросы приватности при работе с персональными данными и интеллектуальной собственностью.

Отдельно необходимо выделить проблемы кибербезопасности: риски взлома и саботажа критической инфраструктуры, угрозы промышленного шпионажа через цифровые копии, проблемы защиты конфиденциальных данных.

Преодоление этих вызовов позволит полностью раскрыть потенциал технологии, сделав ее действительно массовым инструментом промышленной трансформации.

Таким образом, внедрение цифровых двойников в производственные процессы является важным шагом на пути к цифровизации. Это позволяет повысить эффективность производства, снизить риски и затраты, улучшить качество продукции [5-7]. Актуальность их применения возрастает с развитием технологий, и в ближайшем будущем цифровые двойники станут неотъемлемой частью производственной среды.

Список источников

1. Москвин Д.А., Москвина Е.А. Актуальность применения цифровых двойников на производстве // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21–25 апреля 2025 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. С. 300.
2. Бузуева М.В., Белоусова И.Д. Использование технологии цифровых двойников в образовании // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21–25 апреля 2025 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. С. 288.
3. Москвина Е.А., Москвин Д.А. Преимущества и недостатки использования цифровых двойников в учебном процессе университета // Актуальные проблемы современной науки, техники и образо-

- вания : тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21–25 апреля 2025 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. С. 334.
4. Москвин Д.А., Москвин В.Д. Роботы-консультанты в агропромышленном комплексе // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 367.
 5. Москвин Д.А., Москвин В.Д. Роботы на производстве в химической промышленности // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 387.
 6. Москвин Д.А. Роботы как часть автоматизации бизнеса // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 39.
 7. Реализация проектных решений по созданию автоматизированной информационной системы контроля движения сырья на складе промышленного предприятия / И. Н. Мовчан, И. Д. Белоусова, А. Н. Старков, Е. Г. Трофимов // Отходы и ресурсы. 2022. Т. 9, № 4. DOI 10.15862/161TOR422.

Сведения об авторах

Москвина Елена Алексеевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: e.moskvina-magtu@mail.ru. ORCID 0000-0002-0373-112X.

Белоусова Ирина Дмитриевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: bid711@mail.ru

Москвин Дмитрий Алексеевич – магистрант группы ТПМм-24, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Бузуева Мария Викторовна – магистрант группы ТПМм-24, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 004.94

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Москвин Д.А., Москвина Е.А., Белоусова И.Д., Бузуева М.В.

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск

Аннотация. В статье рассматривается цифровая трансформация химического предприятия посредством внедрения цифровых технологий с применением роботов на производстве с целью автоматизации бизнес-процессов. Авторами представлены примеры реальных разработок промышленных роботов, роботов-консультантов и цифровых двойников.

Ключевые слова: автоматизация, цифровизация, информационные технологии, цифровой двойник, промышленный робот, робот-консультант, химическая промышленность

Российский производитель современных средств защиты растений, агрохимикатов и семян, компания АО «Щелково Агрохим» – динамично развивающееся предприятие. Основное направление деятельности – производство химических средств защиты растений [1-3]. Входит в ТОП-3 на рынке химической промышленности. Компания развивается и идет в ногу со временем в области автоматизации и цифровизации бизнес-процессов, разрабатывая и внедряя нейросети, цифровые двойники.

Любая разработка, любое внедрение в сфере информационных технологий (ИТ) – это изменение, к которому нужно быть готовым. Но не все предприятия, не все сотрудники предприятий готовы к изменениям.

На базе компании АО «Щелково Агрохим» успешно разрабатываются и реализуются реальные проекты на основе цифровизации.

Внедрение любой информационной системы (ИС), программного продукта начинается со SWOT-анализа предприятия. На начальном этапе необходимо проанализировать сильные и слабые стороны, риски и возможности предприятия.

Роботы для бизнеса – это:

- высокие затраты на разработку и внедрение, особенно на начальных этапах;
- потери рабочих мест из-за автоматизации процессов;
- возможность технических сбоев и ошибок в работе роботов;
- информационные технологии должны быть не ради ИТ, а для компании.

Роботы, физические или программные, – это часть автоматизации бизнеса. И топ-менеджеры компании должны понимать, что роботы должны увеличить производительность, окупиться и по-

высить доход компании. Особую значимость приобретает необходимость вовлечения персонала компании в развитие проекта автоматизации. Автоматизация – это не одноразовое мероприятие, а целая кампания.

Огромную роль в деятельности химических предприятий играют промышленные роботы (рис. 1). Положительные стороны использования роботов на производстве охарактеризовать следующими положениями:

- упрощение рабочего процесса (роботы действуют по заданному алгоритму, что исключает неточности, ошибки, человеческий фактор);
- повышение производительности (роботы могут трудиться 24 часа в сутки без простоев, перерывов, выходных и отпусков);
- снижение затрат на создание продукции;
- возможность использования в химической промышленности с токсичными, радиоактивными веществами, для работ с повышенной опасностью (на высоте, под землей, при высоких/низких температурах).



Рис. 1. Промышленный робот на химическом производстве

Стратегия внедрения любых роботов включает в себя следующие этапы:

- определение требований: необходимо определить, какие функции должны выполнять роботы и какие задачи должны решать;

- характеристики: на основе требований необходимо разработать концепцию робота, определить его основные характеристики и возможности;

- адаптация существующих технологий и разработок к специфическим условиям;

- проектирование и разработка: на этом этапе необходимо создать детали робота, его программное обеспечение, алгоритмы и системы управления и безопасности;

- тестирование, отладка и мониторинг: необходимо провести тестирование работы роботов, выявить и устранить их недостатки;

- эксплуатация робототехники: необходимо включить робота в реальный производственный процесс [1-5].

Перед ИТ-отделом АО «Щёлково Агрохим» стояла задача создания эффективного инструмента, предназначенного для консультирования клиентов по продукции компании. Это требует использования различных технологий, таких как искусственный интеллект, машинное обучение, обработка естественного языка, компьютерное зрение [1-5].

Роботы-консультанты могут выполнять различные функции в зависимости от конкретной задачи и области применения. Некоторые из них:

- обработка запросов клиентов: роботы-консультанты могут отвечать на вопросы клиентов, предоставлять информацию о продуктах или услугах, помогать в оформлении заказов и т.д.;

- поддержка продаж: роботы могут помогать продавцам-консультантам в общении с клиентами, предоставляя им информацию о товарах и услугах, а также помогая в оформлении заказов;

- анализ данных: роботы-консультанты могут использовать алгоритмы машинного обучения для анализа данных о клиентах, их предпочтениях и поведении, чтобы предоставлять более точные рекомендации и советы;

- поддержка пользователей: роботы могут помочь пользователям в решении технических проблем, предоставлять инструкции и рекомендации по использованию продуктов или услуг, а также отвечать на вопросы пользователей;

- управление контентом: роботы-консультанты могут автоматически создавать и обновлять контент на веб-сайтах, в социальных сетях и других платформах, что позволяет компаниям экономить время и ресурсы;

- мониторинг и анализ эффективности: роботы могут собирать данные о работе консультантов, ана-

лизировать их и предоставлять отчеты о производительности и эффективности работы [1-5].

Ключевые возможности программного робота-консультанта (рис. 2):

- оказание информационной поддержки клиентам в сфере агропромышленного комплекса по вопросам, связанным продукцией компании АО «Щёлково Агрохим»;

- оказание поддержки в вопросах, касающихся защиты и лечения зерновых и овощных культур с использованием препаратов АО «Щёлково Агрохим» [1-3].

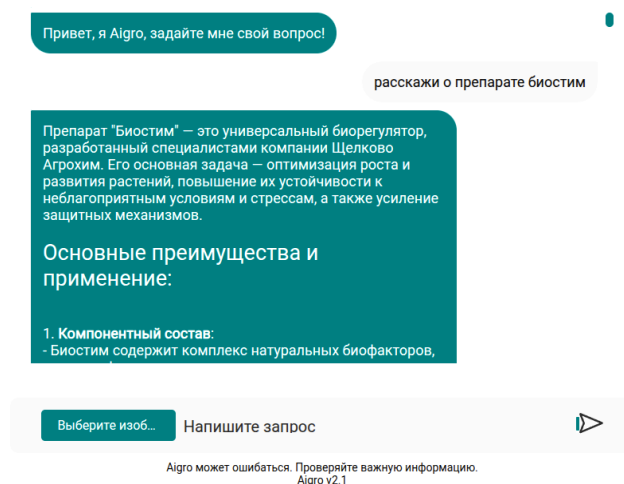


Рис. 2. Диалог робота-консультанта с клиентом

Современные промышленные российские и зарубежные предприятия берут курс развития в сторону цифровых двойников. Цифровые двойники (ЦД) – это виртуальные модели физических объектов, процессов или систем, которые обеспечивают их цифровое представление в реальном времени. Создают возможности для тестирования различных сценариев работы без риска для реального производства.

Положительные стороны цифровых двойников:

- обучение и развитие персонала;
- улучшение мониторинга и прогнозирования;
- поддержка в принятии решений.

Назначение ЦД в АО «Щелково Агрохим» – автоматизация деятельности учебного класса по безопасному обучению сотрудников и подготовке их к работе на производстве.

Для безопасного обучения и подготовки персонала производственных цехов АО «Щелково Агрохим» был создан учебный класс. Обучение проходит с использованием цифрового двойника с применением технологии виртуальной реальности (VR). Сейчас VR – это одна из самых перспективных сфер применения.

Сотрудник обучается на тренажере с VR-очками Oculus под руководством преподавателя (рис. 3). Благодаря цифровому двойнику, после прохождения обучения, сотрудники приходят в цех уже подготовленными для работы.



Рис. 3. Обучение персонала с помощью цифрового двойника в учебном классе

Разработка цифрового двойника цеха требует выбора подходящего инструментария, который обеспечит стабильную работу приложения, удобство взаимодействия пользователя с виртуальной средой и возможность дальнейшего масштабирования.

Таким образом, использование промышленных роботов, роботов-консультантов и цифровых двойников обеспечивает перспективное развитие конкурентоспособного химического предприятия.

Список источников

1. Москвин Д.А., Москвин В.Д. Роботы-консультанты в агропромышленном комплексе // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 367.
2. Москвин Д.А., Москвин В.Д. Роботы на производстве в химической промышленности // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 387.
3. Москвин Д.А. Роботы как часть автоматизации бизнеса // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 82-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 22–26 апреля 2024 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2024. С. 39.
4. Москвин Д.А., Москвина Е.А. Актуальность применения цифровых двойников на производстве // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21–25 апреля 2025 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. С. 300.
5. Бузуева М.В., Белоусова И.Д. Использование технологии цифровых двойников в образовании // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования : тезисы докладов 83-й международной научно-технической конференции, Магнитогорск, 21–25 апреля 2025 года. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2025. С. 288.

Сведения об авторе

Москвин Дмитрий Алексеевич – магистрант группы ТПМм-24, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

Москвина Елена Алексеевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: e.moskvina-magtu@mail.ru. ORCID 0000-0002-0373-112X.

Белоусова Ирина Дмитриевна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: bid711@mail.ru.

Бузуева Мария Викторовна – магистрант группы ТПМм-24, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.