

# АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ, ТЕХНИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

Научно-технический журнал

2019. Т. 10. №1

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

## Редколлегия:

### Председатель:

проф., д-р техн. наук *О.Н. Тулупов*

### Заместители председателя:

проф., д-р техн. наук *Г.С. Гун*

проф., д-р техн. наук *О.С. Логунова*

### Ответственные редакторы:

доц., канд. техн. наук *С.М. Андреев*

канд. ист. наук *О.А. Голубева*

доц., канд. пед. наук *Н.В. Кузнецова*

доц., канд. ист. наук *Н.Н. Макарова*

доц., канд. техн. наук *Е.А. Москвина*

канд. техн. наук *Е.Г. Неишпоренко*

доц., канд. техн. наук *Н.А. Осинцев*

доц., канд. техн. наук *К.Г. Пивоварова*

### Главный редактор:

канд. техн. наук *С.В. Пыхтунова*

### Редактор: *Н.П. Боярова*

### Технический

редактор: *Т.В. Леонтьева*

© ФГБОУ ВО «МГТУ  
им. Г.И. Носова», 2019

### 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 26.08.2019 г. Заказ 248.  
Тираж 500 экз. Цена свободная.

## СОДЕРЖАНИЕ

### Четвергова А.А., Копылова О.А.

Разработка мероприятий по формированию парковочной системы на примере  
г. Магнитогорска ..... 3

### Симонов П.С., Тептеев Г.Н.

Анализ взрывчатых характеристик и условий применения эмульсионных  
взрывчатых веществ ..... 8

### Красавин А.В., Колесатова О.С., Нестерова О.А., Кутлугалямов Т.М., Ретюнских А.С.

Повышение эффективности маркшейдерских измерений для определения объемов  
подземных выработанных пространств с учетом технологии очистной выемки .... 13

### Махоткина Е.С., Шубина М.В.

Извлечение ванадия кислотным выщелачиванием концентратов  
титаномагнетитовых руд Урала ..... 17

### Сметнёва Н.Ю., Усанов М.Ю., Харитонов В.А.

Совершенствование режимов волочения углеродистой проволоки на основе  
разработки и реализации новых методик расчета маршрутов волочения ..... 21

### Братковский Е.В., Турушева А.И.

Оптимизация химического состава сталей с целью повышения ударно-абразивной  
стойкости ..... 27

### Сычков А.Б., Дегтярев А.В., Блохин М.В.

Освоение производства арматурного проката по новому ГОСТ 34028-2016 ..... 30

### Гулаков А.А., Тухватулин И.Х., Колокольцев В.М., Потапов М.Г.

Основные этапы разработки технологии производства рабочих валков  
для чистовых клетей станов горячей прокатки ..... 36

### Ангольд К.В.

Прогнозирование термонапряжений при получении цилиндрических изделий  
в металлургии ..... 41

### Соколова Е.В., Бигеев В.А.

Изменение содержания шлакообразующих элементов по ходу ковшевой  
обработки стали с регламентированным содержанием фосфора ..... 46

### Смирнов А.Н., Сысоев В.И., Крылова С.А., Жусупова Ж.С., Никифорова В.М.

Газохроматографический анализ продуктов каталитической переработки  
каменноугольной смолы ..... 51

### Соколов П.Б., Муравьева А.В.

Разработка и внедрение инновационной технологии восстановления и повышения  
работоспособности тел вращения ..... 56

### Вдовин К.Н., Ячиков М.И.

Расчет конструкционных характеристик установки ЭШП при выплавке заготовок  
роликов МНЛЗ ..... 63

### Гущин Д.Н., Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Сысоев В.И., Малиханов Ю.С.

К выбору влажности агломерационной шихты и содержания в ней углерода  
при спекании титаномагнетитовых концентратов ..... 68

### Рубан К.А.

Особенности применения современных средств ИКТ в высшем образовании  
в условиях перехода на отечественное программное обеспечение ..... 73

### Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Филиппов Е.Г., Подберезный А.Ю., Сагадиев С.Р.

Визуальная модель загрузки шихты в доменную печь ..... 77

<b>Кудрявцев М.Е, Калугина О.Б.</b> Сигнатуры систем обнаружения вторжений: основы IDS сигнатур .....	80
<b>Казаковцев М.С., Михайлова У.В., Афанасьева М.В.</b> Социальная инженерия в таргетированных атаках .....	84
<b>Худяков П.Ю., Мустафин А.С., Новоселов А.А., Шевченко С.Н.</b> Программная обработка значений сигналов термопар с учетом параметров тепловой инерции датчиков в ПЛК.....	88
<b>Бодров Е.Э., Усатый Д.Ю., Бодрова С.И., Кривошеев Д.А.</b> Разработка автоматизированной системы измерения насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием 3D-камеры .....	92
<b>Ковалев А.А., Старцев И.М.</b> Повышение надежности системы электроснабжения рудничных электровозов .....	96
<b>Соколов А.П., Газизова О.В.</b> Анализ возможности применения несинхронного АПВ на промышленных электростанциях .....	100
<b>Николаев А.А., Тулупов П.Г.</b> Разработка математической модели электрического контура дуговой сталеплавильной печи для расчёта мгновенных значений напряжения электрических дуг на основании реальных экспериментальных данных.....	104
<b>Сомова Ю.В., Глухов Ю.А.</b> Поддержание риска возможных происшествий на приемлемом уровне в условиях РОФ ПАО «ММК» .....	110
<b>Цыганов А.В.</b> Расчёт нагрузок, действующих на автомобильные транспортные средства при железнодорожных перевозках.....	116
<b>Мишурина О.А., Глазкова Я.В., Турлина А.А., Варнавский Д.А., Расторгуев А.Е.</b> Исследование процессов гидрофобизации и упрочнения композиционных материалов на основе вторичной целлюлозы .....	120
<b>Покрамович Л.Е.</b> Риск-ориентированный подход к организации государственного контроля (надзора). 124	
<b>Зиянгирова С.Р., Газеев И.Р., Нигматьянов А.А., Ребезов М.Б., Горелик А.С.</b> Качество овчин баранчиков при использовании в рационе сорбционных и пробиотических добавок.....	127
<b>Ребезов Я.М.</b> Оценка безопасности продукции из мяса индейки.....	130
<b>Горелик О.В., Харлап С.Ю., Голомага В.С., Хлусов В.Н., Колесниченко И.С.</b> Современные методы переработки и утилизации крови.....	135
<b>Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф.</b> Физиологические эффекты пищевых веществ .....	139
<b>Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Васькина А.К., Эргардт Р.В.</b> .....	143
<b>Кадченко С.И., Закирова Г.А., Рязанова Л.С., Торшина О.А.</b> Вычисление собственных значений с большими номерами спектральных задач модифицированным методом Галеркина .....	148
<b>Белов В.К.</b> Геометрические и силовые параметры скреж теста .....	153
<b>Давыдов А.П., Злыднева Т.П.</b> Однофотонная интерференция света в терминах волновой функции фотона в координатном представлении .....	156
<b>Бондаренко Т.А., Каменева Г.А., Анисимов А.Л.</b> Методические проблемы обучения математике студентов-заочников в условиях современной образовательной парадигмы .....	163
<b>Москвина Е.А., Мухаметкужина Э.Н.</b> К вопросу о необходимости использования компетентностного подхода в обучении математике современной школы .....	167

УДК 656.015

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО ФОРМИРОВАНИЮ ПАРКОВОЧНОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ г. МАГНИТОГОРСКА

Четвергова А.А., Копылова О.А.

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

**Аннотация.** Рассмотрена проблема организации парковочного пространства в крупных городах на фоне растущего уровня автомобилизации населения и существующих особенностей планировочной структуры центральных и промышленных районов. Выполнен сравнительный анализ различных типов парковочных комплексов и представлен перечень рекомендаций по формированию парковочной системы для условий г. Магнитогорска. Разработан алгоритм формирования парковочной системы в городах, основанный на общественной и экономической оценке проекта.

**Ключевые слова:** парковочная система, уровень автомобилизации, роторная парковка, улично-дорожная сеть, парковочные комплексы, общественная и экономическая эффективность.

В настоящее время наблюдается постоянный рост уровня автомобилизации населения в России. За период 2007-2017 гг. в Челябинской области, например, количество автомобилей на 1000 человек увеличилось с 187,3 до 311,3, более 60% (рис. 1) [1].

В крупных городах области этот показатель превышает средние значения. В г. Магнитогорске, являющемся крупным промышленным центром, на 2016 г. количество зарегистрированных транспортных средств составило 162901, из них 101777 легковых автомобилей индивидуального пользования. Уровень автомобилизации города около 390 автомобилей на 1000 человек, при этом рост этого показателя составляет от 4 до 10% ежегодно. Таким образом, утвержденный в городе норматив обеспеченности местами для хранения транспортных средств, равный 450 машино-мест на 1000 человек, с учетом существующей динамики автомобилизации, уже к 2025 г. не сможет удовлетворить растущий спрос на парковочные места (рис. 2) [2].

Высокие темпы роста автомобилизации населения в ограниченных условиях городской застройки (особенно на придомовой территории и вблизи промышленных предприятий, расположенных в городской черте) создают ситуацию нехватки машино-мест для парковки автомобилей. По данным Программы комплексного развития транспортной инфраструктуры г. Магнитогорска на 2017-2025 гг. [2], примерно на 30% придомовых территорий города отсутствуют парковочные места для временного хранения автомобильного транспорта в связи с узкими внутридворовыми проездами. Недостаточный уровень организации парковочной системы приводит к бесконтрольной парковке автомобильного транспорта на детских площадках, тротуарах, на зеленых зонах или на примыкающей к тротуару полосе движения транспорта. Неправильно припаркованные автомобили ухудшают условия движения транспорта и пешеходов.

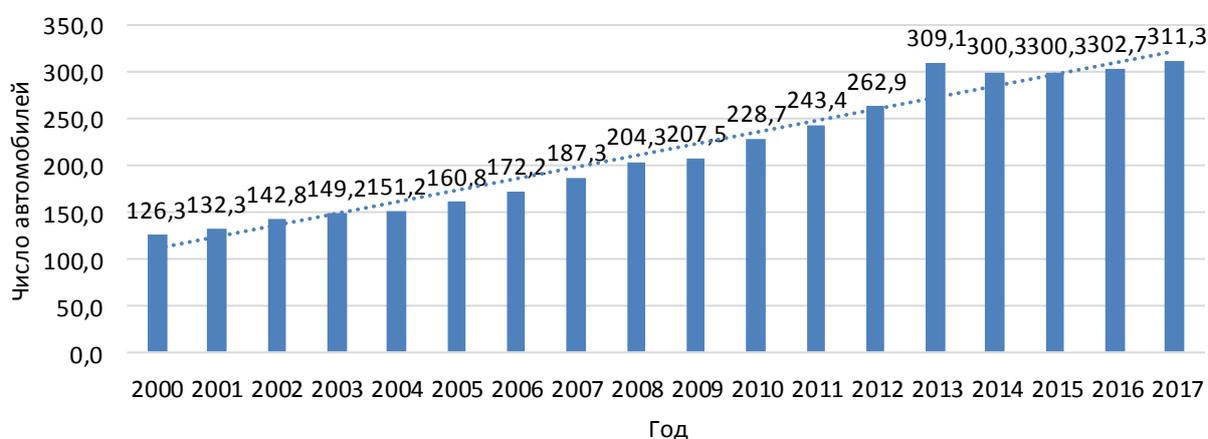


Рис. 1. Число собственных легковых автомобилей на 1000 человек населения в Челябинской области

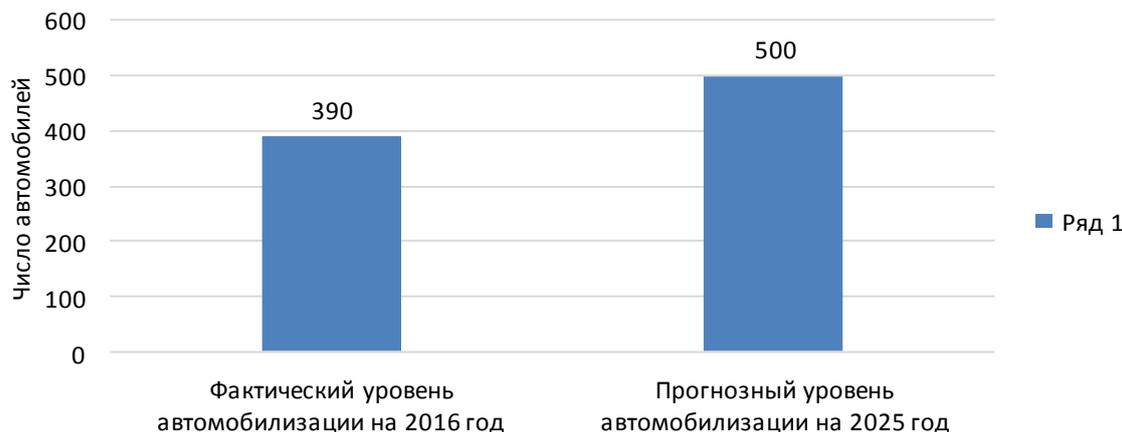


Рис. 2. Число собственных автомобилей в г. Магнитогорске на 1000 человек населения

Анализ исследований [3 - 7], показал, что при создании организованных парковочных пространств и введении запрета на несанкционированные парковки возможно достижение следующих положительных эффектов:

- снижение аварийности участка на 20-25%;
- увеличение скорости движения автомобилей на участке с 30-40 до 40-60 км/ч;
- увеличение пропускной способности на 30-50%;
- повышение качества городской среды;
- обеспечение беспрепятственного проезда дорожно-уборочной техники, спасательных служб, общественного транспорта и т.д.

Вопрос планирования и организации парковочного пространства является сложнейшей технико-экономической проблемой современных городов. Анализ существующих методик формирования парковочных систем показал, что наиболее проработанными являются вопросы проектирования парковочных пространств и допустимости их размещения на сети дорог [4, 8]. При этом выбор мест размещения парковочного пространства основывается, как правило, на математических и имитационных моделях с различными критериями оптимизации, например, минимизации затрат (временных, денежных) на поездку и парковку, максимизации пропускной способности участка улично-дорожной сети [5, 9]. На практике чаще всего организованные парковочные комплексы находятся в частной собственности, соответственно, размещаются на основе коммерческой оценки эффективности проекта, т.е. по критерию максимизации прибыли. В исследованиях [10, 11] рассмотрены принципы политики паркингов, которые подразумевают современные технологии регулирования дорожного движения,

обоснование скоростного режима и т.д. Одним из основных направлений политики паркингов является разработка механизмов, способствующих уменьшению разницы между спросом и предложением на парковочные места за счет создания большего количества стояночных мест на внеуличных территориях, а также установка дифференцированных ставок оплаты парковочного места различным категориям граждан (например, местным жителям парковка обходится дешевле).

Политика паркингов находится на стадии становления в России. Поэтому реализация подобных механизмов в условиях создания парковочных комплексов частными инвесторами требует разработки комплексной методики формирования единого парковочного пространства городов на основе принципов государственно-частного партнёрства, общественной и коммерческой оценке эффективности проекта.

Формирование парковочной системы требует не только выбора места размещения парковочного комплекса, но и способа организации парковочного пространства. На примере организации внутриквартальных территорий был проведен сравнительный анализ следующих видов парковок (табл. 1) [4, 12, 13]:

- подземная парковка (рис. 3);
- надземная парковка (рис. 4);
- роторная парковка (рис. 5).

Для выбора наиболее приемлемого варианта парковочного комплекса с учетом экологической обстановки в городе, наличия финансовых средств для реализации проекта, ограниченности территории и т.д. были определены оценочные показатели, на основе которых составлена сравнительная табл. 2.

Таблица 1

Характеристика различных типов парковочных комплексов

Наименование	Достоинства	Недостатки
Подземная парковка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- сохранение архитектурного облика города;</li> <li>- возможность установки системы фильтрации выхлопных газов;</li> <li>- обеспечение сохранности автомобиля и защиты ТС от атмосферных осадков и т.д.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- высокие затраты на реализацию проекта;</li> <li>- необходимо учитывать все подведённые подземные коммуникации</li> </ul>
Надземная парковка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- большая вместимость парковки;</li> <li>- быстрая окупаемость проекта, особенно при размещении на внутриквартальных территориях</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- низкая сохранность ТС в сравнении с другими вариантами;</li> <li>- небезопасное пребывание на детской площадке и неудобства, связанные с наблюдением за детьми;</li> <li>- загазованность территории</li> </ul>
Роторная парковка	<ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальная площадь для размещения ТС;</li> <li>- сокращение времени на парковку;</li> <li>- высокая сохранность ТС (автомобили хранятся в закрытых ячейках);</li> <li>- высокая экологичность проекта</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- необходимость изучения особенностей эксплуатации механизмов и высокие затраты на обслуживание проекта</li> </ul>



Рис. 3. Подземная парковка



Рис. 4. Надземная парковка



Рис. 5. Роторная парковка

Таблица 2

Сравнительный анализ парковочных комплексов по предложенным оценочным показателям

Вид парковочной системы	Показатели						
	Низкие затраты	Доходность и окупаемость проекта	Сохранность автомобиля	Экологичность	Малая потребная площадь	Отсутствие особенностей эксплуатации	Лёгкость установки
1. Подземная парковка	-	+	+	+	-	+	-
2. Надземная парковка	+	+	-	-	-	+	+
3. Роторная парковка	-	+	+	+	+	-	+

По результатам сравнительного анализа наиболее оптимальным вариантом для стеснённых городских условий г. Магнитогорска является роторная парковка. Размещение очистных агрегатов для поглощения выхлопных газов, а также возможность озеленения каркаса роторной парковки является дополнительным преимуществом данного типа парковочного комплекса. Это позволит снизить негативное воздействие автотранспорта на окружающую среду, что особенно актуально для такого промышленного города, как Магнитогорск.

Окончательный выбор парковочного комплекса и места его размещения предлагается основывать на комплексной оценке проекта. Для этого в работе был разработан алгоритм формирования парковочной системы в городах (рис. 6). Оценку допустимости размещения парковочного пространства следует выполнять в соответствии с «Методическими рекомендациями по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения» [8].

Использование предложенного алгоритма позволит избежать создания стихийных коммерческих объектов, основываясь на общественной и

экономической оценке проекта. Общественная эффективность проекта должна быть направлена на достижение описанных ранее эффектов, связанных с улучшением пропускной способности участка.

Таким образом, предлагается следующий комплекс мероприятий по формированию парковочной системы в г. Магнитогорске:

- реализация механизмов политики паркования: размещение запрещающих парковку знаков на участках улично-дорожной сети с пониженной пропускной способностью, в местах несанкционированных стихийных парковок;
- создание альтернативных внеуличных парковочных пространств, а также парковочной системы внутриквартальных территорий с достаточными парковочными местами;
- выбор типа парковочного комплекса предлагается основывать на предложенном комплексе оценочных показателей: уровень затрат, доходность и окупаемость проекта, экологичность, потребная площадь, сохранность транспортных средств, особенности эксплуатации и установки.

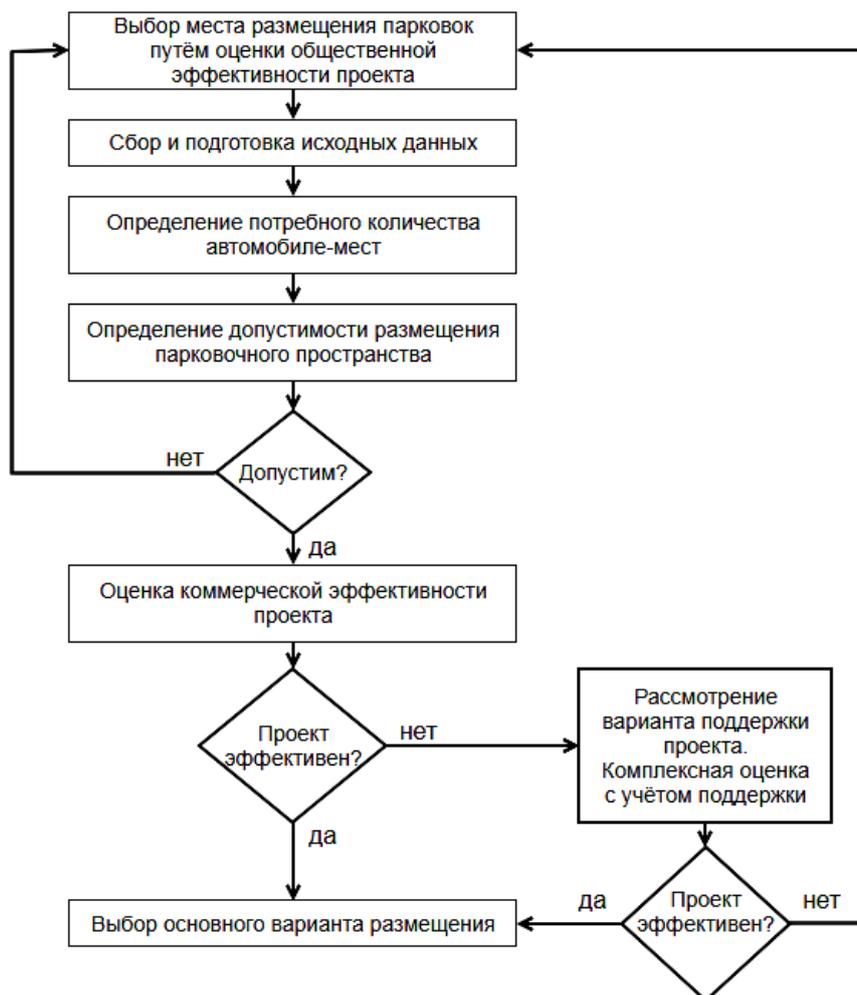


Рис. 6. Алгоритм формирования парковочной системы

– по результатам сравнительного анализа в качестве основного типа парковочного комплекса рекомендуется установка роторных парковок для стеснённых и экологически неблагоприятных условий г. Магнитогорска. Выбранная система обеспечит большую безопасность пешеходов, а также будет способствовать повышению уровня качества городской среды;

– формирование парковочной системы предлагается основывать на комплексном подходе, учитывающем коммерческую и общественную эффективность проекта (загруженность транспортной сети, экологичность и т.д.). Учитывая ограниченность бюджетных средств и возможность коммерциализации проекта, создание парковочных систем рекомендуется основывать на принципах государственно-частного партнерства.

Таким образом, при разработке мероприятий по формированию парковочной системы в г. Магнитогорске необходимо учитывать не только инвестиционную привлекательность объекта, но и влияние на пропускную способность улично-дорожной сети, безопасность движения, экологическую обстановку в городе и т.д. Организацию парковочного пространства следует основывать на создании более благоприятных и комфортных условий для жителей города, используя для этого современные инженерно-технические решения.

#### Список литературы

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики РФ [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/business/transsv/t3-4.xls](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/transsv/t3-4.xls)
2. Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры города Магнитогорска на 2017-2025 годы (утв. решением Магнитогорского городского Собрания депутатов от 25 апреля 2019 года №64) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Администрации г. Магнитогорска. – Режим доступа: [https://www.magnitogorsk.ru/images/stories/Transport/grafiki/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5\\_%D0%9C%D0%93%D0%A1%D0%B4\\_64.pdf](https://www.magnitogorsk.ru/images/stories/Transport/grafiki/%D0%A0%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%9C%D0%93%D0%A1%D0%B4_64.pdf)
3. Галкина Н. Г., Сафронов Э. Э. Зарубежный опыт организации парковок [Электронный ресурс]// Вестник ХНАДУ. – 2009. – №47. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/zarubezhnyy-opyt-organizatsii-parkovok>.
4. Стадничук Н.Н., Ямилова В.В. Особенности проектирования парковок в условиях современной городской среды // История и педагогика естествознания. – 2015. – №4. – С. 54-56.
5. Жиндаева В.В. Стихийные парковки: статистика и проблемы // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2016. – №1. – С. 9-13.
6. Хомченко А.Н., Осинцев Н.А. Ресурсоэкономичность транспортных систем городов // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2012. – №2. – С. 134-139.
7. Николаева А.И., Каримова Д.К., Багинова В.В. Транспортная система России в современных условиях // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2011. – №1. – С. 7-13.
8. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Формирование единого парковочного пространства в городах Российской Федерации (согласовано с заместителем Министра транспорта Российской Федерации от 1 августа 2018 года) [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства транспорта РФ. – Режим доступа: <https://www.mintrans.ru/documents/10/9518>
9. Науменко Е.Ю. Организация парковочного пространства в общей системе дорожного движения в городах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 // Волгоград, 2012 – 16с.
10. Фадеев Д.С. Разработка методов оценки и моделирование инвестиционной деятельности в парковочном комплексе крупных городов: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Иркут. гос. техн. ун-т. – Иркутск, 2005. – 19 с.
11. Пыталева О.А., Фридрихсон О.В., Бердашкевич С.М. Исследование экологического аспекта при организации транспортных потоков в городах (на примере города Магнитогорска) // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – №1. – С. 58-64.
12. Игнатъев Юрий Вадимович Возведение автомобильных стоянок и парковок в крупных городах // Вестник ЮУрГУ. Серия: Строительство и архитектура. – 2012. – №17 (276). – С. 68-72.
13. Максимов К.В., Лубенская Л.А. Решение проблемы недостатка парковочных мест во дворах. Многофункциональная парковка // Выставка инноваций - 2015 (осенняя сессия). – Ижевск, 2015. – С. 22-25.

#### Сведения об авторах

**Четвергова Анастасия Александровна** – студ. кафедры «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Копылова Олеся Александровна** – канд. техн. наук, доц., кафедра «Логистика и управление транспортными системами», ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [o.kopylova@magtu.ru](mailto:o.kopylova@magtu.ru).

УДК 622.235

## АНАЛИЗ ВЗРЫВЧАТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК И УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЭМУЛЬСИОННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ

Симонов П.С., Тептеев Г.Н.

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

**Аннотация.** Разработана методика расчета экономической эффективности, применения эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) с горючими добавками. Установлено, что с добавлением в состав ЭВВ до 10 % алюминия: повышаются теплота взрыва, выход взорванной горной массы; расширяется сетка расположения скважин и уменьшается расстояние разлета кусков породы, объем бурения; снижаются затраты на буровзрывные работы. Определено, что при существующих ценах на алюминиевый порошок применение данной горючей добавки в эмульсионных взрывчатых веществах позволяет повысить экономическую эффективность буровзрывных работ на 8,2–24,2 % в зависимости от крепости взрывааемых горных пород. При более высоких ценах на алюминий устанавливать эффективность применения ЭВВ с алюминием необходимо экономическими расчетами.

**Ключевые слова:** эмульсионное взрывчатое вещество, алюминий, горючая добавка, теплота взрыва, буровзрывные работы, экономическая эффективность, стоимость бурения, цена ВВ, затраты на взрывание.

### Введение

В настоящее время эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ) являются самым распространенным видом промышленных взрывчатых веществ в России [1]. Популярность этого вида взрывчатых веществ вызвана его водостойкостью, безопасностью применения, низкой стоимостью компонентов, относительной экологической чистотой [2, 3]. Однако у ЭВВ имеются и недостатки. Один из самых существенных недостатков – низкая теплота взрыва ЭВВ без специальных горючих добавок (2500–3200 кДж/кг). Вода, входящая в состав ЭВВ, придающая ему текучесть, значительно понижает теплоту взрыва. В результате при использовании ЭВВ в крепких крупноблочных горных массивах возможна некачественная подготовка горных пород к выемке, выражающаяся в низкой степени взрывного дробления, высоком выходе негабарита, непроработке подошвы уступа и других отрицательных явлениях.

Повысить теплоту взрыва до 3800 кДж/кг возможно смешиванием ЭВВ с простейшими гранулированными составами (ЭВВ+АС/ДТ; ЭВВ+АС) на основе пористой аммиачной селитры (АС) с дизельным топливом (ДТ). Это позволяет на некоторых предприятиях снизить приведенную стоимость взрывания 1 м<sup>3</sup> горной массы до 24% [4]. Однако водостойкость и плотность заряжения данных ВВ понижаются, и применяются они для взрывания вскрышных и рудных блоков в сухих скважинах.

Другим способом повышения энергетической составляющей ЭВВ является использование различных горючих добавок. Наиболее традиционной горючей добавкой служат порошки и пудры алюминия [5–7]. Алюминий широко используется в составах порошкообразных и гранулированных ВВ – аммонал, скальный аммонал, детонит М, алюмотол, гранулиты А6, АС-4, АС-8 и др., входит в состав водосодержащих ВВ – карбатов ГЛ-10В, акваналы и эмульсионных ВВ – порэмиты М-4А, М-8А, гранулит ЭТ, форгис и др. Однако применение алюминия требует особых мер безопасности. В работе [8] установлена возможность при определенных условиях взаимодействия алюминия с водой с выделением водорода, которое носит самоускоряющийся характер. Вместе с тем в [9] отмечается, что при смешивании дисперсного алюминия с водным раствором аммиачной селитры, эмульгатором или дизельным топливом в различных соотношениях, реакции взаимодействия между ними не установлено даже при нагревании смеси до 90 °С. Дисперсный алюминий различных марок не реагирует с водным раствором аммиачной селитры даже при добавлении значительного количества щелочи и нагревании до 65 °С. Следовательно, использование дисперсного алюминия в качестве твердой горючей добавки при изготовлении гранулита ЭТ безопасно, не вызывает процессов саморазогревания компонентов и выделения водорода. Причем дисперсный алюминий целесообразно вводить непосредственно в водомасляную эмульсию.

Возможно применение и других более экономичных металлических горючих добавок – ферросилиция, силикокальция [10]. В работе [11] предлагается для повышения теплоты и работоспособности ЭВВ использовать в качестве сенсibilизатора гидрид магния.

Следует отметить, что использование горючих добавок повышает стоимость изготовления ЭВВ. Вместе с тем оптимальный подбор металлических горючих добавок позволяет расширить область применения ЭВВ, улучшить качество дробления горной массы и снизить затраты на буровзрывные работы в целом. Задача оптимизации заключается в установлении процентного содержания горючей добавки, обеспечивающей минимальную стоимость буровзрывных работ в зависимости от

свойств массива горных пород и условий взрыва зарядов взрывчатых веществ.

В данной работе определена экономическая эффективность применения алюминия в качестве горючей добавки к ЭВВ.

**Определение взрывчатых характеристик ЭВВ с алюминием**

ЭВВ без горючих добавок являются низкоэнергетическими, средне- и высокобризантиными. По теплоте взрыва они значительно уступают эталонному ВВ – аммониту 6ЖВ и гранулированным взрывчатым веществам (рис. 1).

В работе рассчитаны взрывчатые характеристики ЭВВ с добавками алюминия (0, 2, 4, 6, 8, 10%) имеющие нулевой кислородный баланс (табл. 1).

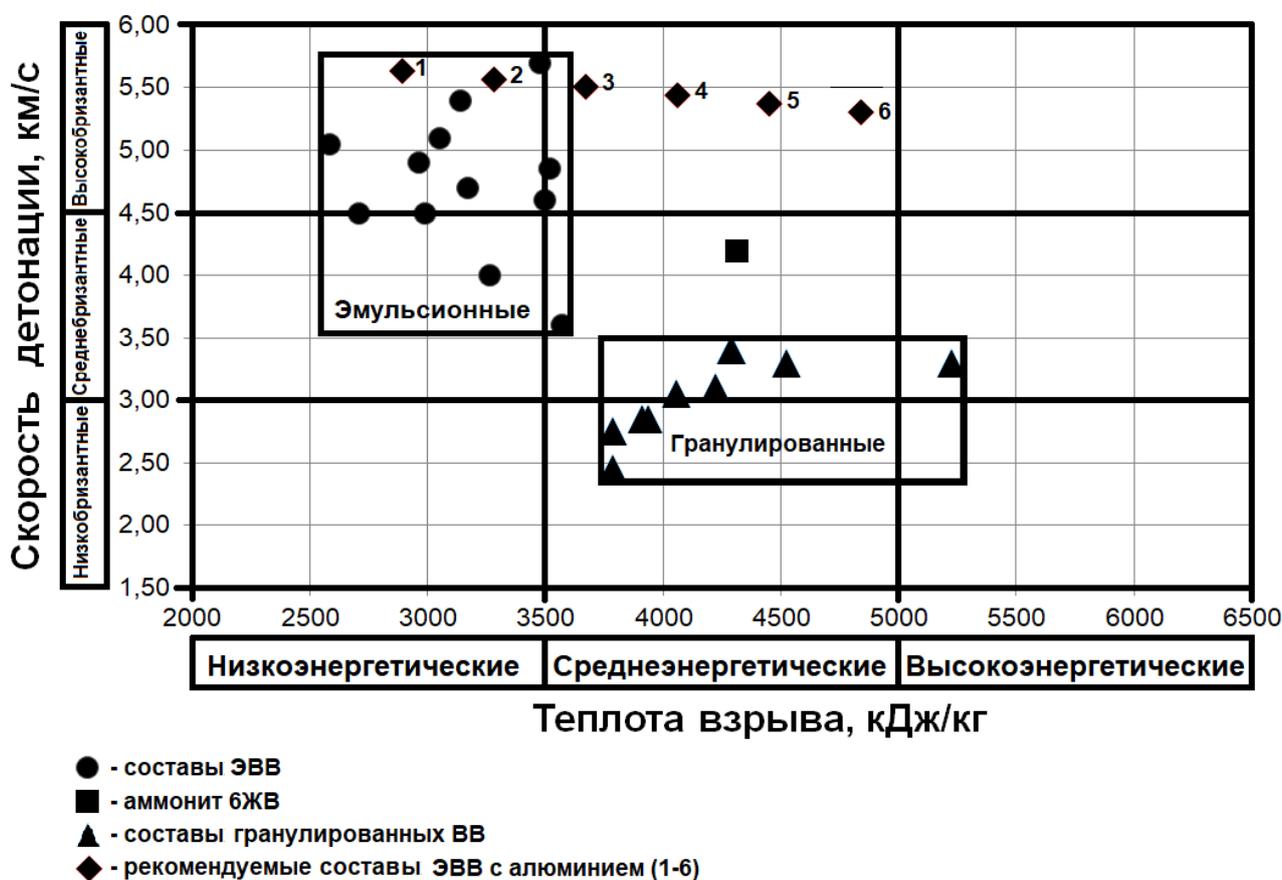


Рис. 1. Взрывчатые характеристики взрывчатых веществ

Таблица 1

Рекомендуемые составы ЭВВ с алюминием

Номер состава	Соотношение компонентов, %				Объем газов $V_g, м^3/кг$	Теплота взрыва $Q, кДж/кг$	Скорость детонации $D, м/с$
	Al	$NH_4NO_3$	$C_{10}H_{20}$	$H_2O$			
1	0	80,315	4,685	15	1011	2890	5639
2	2	80,805	4,125	15	983	3281	5572
3	4	81,295	3,705	15	954	3671	5505
4	6	81,785	3,215	15	926	4061	5439
5	8	82,275	2,725	15	898	4451	5372
6	10	82,765	2,235	15	869	4842	5305

Уравнения реакций взрывчатого превращения составлены по методике Бринкли-Вильсона, и рассчитаны теплота, объем газов и температура взрыва. В результате расчетов установлено, что с повышением содержания алюминия до 10%, объем газов уменьшается до 869 м<sup>3</sup>/кг, а теплота взрыва увеличивается до 4842 кДж/кг.

Скорость детонации ЭВВ в зависимости от содержания алюминия была определена по данным Р.А. Возгринна [12], установившего, что с увеличением содержания алюминия до 21 % скорость детонации снижается по линейной зависимости, т.е. с увеличением алюминия на 1 % скорость детонации уменьшается на 33 м/с.

### Определение параметров буровзрывных работ для ЭВВ с алюминием

Параметры буровзрывных работ определялись по методике В.В. Ржевского [13] для горных пород различной прочности (табл. 2).

При увеличении содержания алюминия (до 10%) увеличиваются линия сопротивления по по-

дошве с 7,4 до 9,7 м; расстояние между зарядами в ряду с 6,8 до 8,9 м; расстояние между рядами скважин с 6,7 до 8,8 м; уменьшается фактический удельный расход с 0,779 до 0,469 кг/м<sup>3</sup>.

Для пород с пределом прочности на сжатие 160 МПа, при той же высоте уступа 12 м и длине забойки 5 м масса заряда составляет 464 кг. При этом при увеличении содержания алюминия до 10% линия сопротивления по подошве увеличивается с 7,1 до 9,4 м; расстояние между зарядами в ряду с 6,1 до 8,0 м; расстояние между рядами скважин с 6,5 до 8,5 м; фактический удельный расход уменьшается с 1,000 до 0,602 кг/м<sup>3</sup>.

На рис. 2 представлены схемы расположения скважинных зарядов на уступе для ЭВВ без алюминия и ЭВВ с 10% алюминия. Видно, что линия сопротивления по подошве и сетка скважин заметно увеличиваются с добавлением алюминия, а вместе с ними увеличивается и выход взорванной горной массы с 1 м скважины.

Таблица 2

Параметры буровзрывных работ при высоте уступа 12 м, массе заряда 442 кг и длине забойки 5 м для пород прочностью 120 МПа

Параметры	Номер состава					
	1	2	3	4	5	6
Содержание алюминия, %	0	2	4	6	8	10
Линия сопротивления по подошве $W$ , м	7,4	7,8	8,4	8,8	9,3	9,7
Расстояние между зарядами в ряду $a$ , м	6,8	7,3	7,7	8,2	8,6	8,9
Расстояние между рядами скважин $b$ , м	6,7	7,1	7,6	8,0	8,4	8,8
Фактический удельный расход, кг/м <sup>3</sup>	0,779	0,687	0,615	0,557	0,509	0,469
Выход взорванной горной массы с 1 м скважины $q_{ГМ}$ , м <sup>3</sup> /м	37,8	42,8	47,8	52,8	57,8	62,8

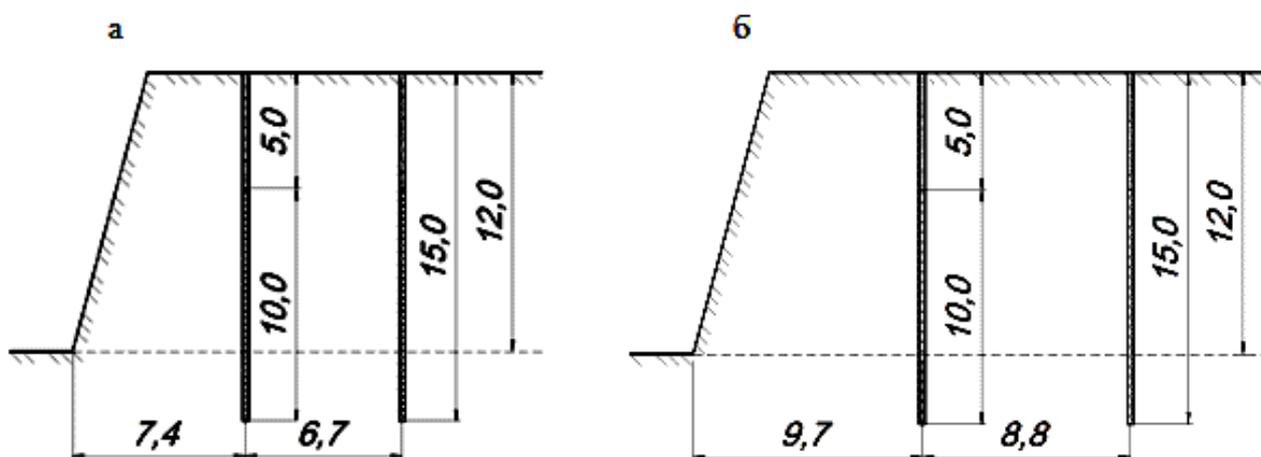


Рис. 2. Схема расположения скважинных зарядов на уступе для горных пород с пределом прочности на сжатие 160 МПа: а – ЭВВ без алюминия; б – ЭВВ с 10 % алюминия

**Определение экономической эффективности ЭВВ с алюминием**

Для оценки экономической эффективности применения ЭВВ с алюминием были определены: стоимость ВВ ( $C_{ВВ}$ , руб./кг) с учетом цен на компоненты, входящие в их состав, стоимость бурения ( $C_{бур}$ , руб./м); удельные затраты на взрывание ( $C_{взр}$ , руб./м<sup>3</sup>) и бурение ( $C_{бур}$ , руб./м<sup>3</sup>) и общие удельные затраты на буровзрывные работы ( $C_{БВР}$ , руб./м<sup>3</sup>) по следующим зависимостям

$$C_{ВВ} = C_{ас} \cdot X_{ас} + C_{дт} \cdot X_{дт} + C_{ал} \cdot X_{ал} + C_{вод} \cdot X_{вод} + C_{эм} \cdot X_{эм}, \quad (1)$$

$$C_{взр} = C_{ВВ} \cdot q_{ф} + \frac{C_{плд} + 3 \cdot C_{нс}}{V_{г.м} \cdot L_{скв}}, \quad (2)$$

$$C_{бур} = \frac{C_{бур}}{V_{г.м}}, \quad (3)$$

$$C_{БВР} = C_{взр} + C_{бур}, \quad (4)$$

где  $C_{ас} = 12,50$  руб./кг,  $C_{дт} = 29,40$  руб./кг,  $C_{ал} = 140,00$  руб./кг,  $C_{вод} = 0,01$  руб./кг,  $C_{эм} = 100,00$  руб./кг – стоимость аммиачной селитры, дизельного топлива, алюминиевого порошка, воды, эмульгатора соответственно;  $X_{ас}$ ,  $X_{дт}$ ,  $X_{ал}$ ,  $X_{вод}$ ,  $X_{эм}$  – содержание в составе ЭВВ аммиачной селитры, дизельного топлива, алюминиевого порошка, воды, эмульгатора соответственно;  $C_{плд} = 150$  руб./шт – стоимость промежуточного детонатора;  $C_{нс} = 150$  руб./шт – стоимость неэлектрической системы инициирования;  $q_{ф}$  – фактический удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;  $V_{г.м}$  – выход взорванной горной массы, м<sup>3</sup>/м;  $L_{скв}$  – длина скважины, м.

Стоимость бурения определялась по зависимостям В.А. Кузнецова [14]:

$$C_{бур} = 3 \cdot f \cdot d, \text{ долл./м}; \quad (5)$$

$$C_{бур} = 3 \cdot f \cdot d \cdot K_{долл}, \text{ руб./м},$$

где  $f$  – коэффициент крепости пород по проф. М.М. Протодьяконову;  $d$  – диаметр скважины, м;  $K_{долл}$  – курс доллара, руб.

Результаты расчетов по данным зависимостям для горных пород с прочностью 120 МПа представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3 стоимость ЭВВ без алюминия 13,42 руб./кг, а при 10 %-й добавке алюминия – 25,75 руб./кг, т.е. возросла почти в 2 раза. Однако удельные затраты на взрывание за счет более низкого удельного расхода ЭВВ с алюминием увеличились незначительно с 11,51 до 12,71 руб./м<sup>3</sup>. Удельные затраты на бурение же снизились с 15,55 до 9,36 руб./м<sup>3</sup>. Таким образом, общие удельные затраты на БВР уменьшаются, и без алюминия составят 27,06 руб./м<sup>3</sup>, а с добавкой 10 % алюминия 22,07 руб./м<sup>3</sup>.

На рис. 3 представлены зависимости общих удельных затрат на БВР для ЭВВ без алюминия (базовый вариант) и ЭВВ с 10% алюминия от прочности взрывааемых пород.

Экономическая эффективность использования ЭВВ с алюминием – это разница между базовым (без алюминия) и предлагаемым вариантами.

$$\mathcal{E} = C_{БВР0} - C_{БВР10}. \quad (6)$$

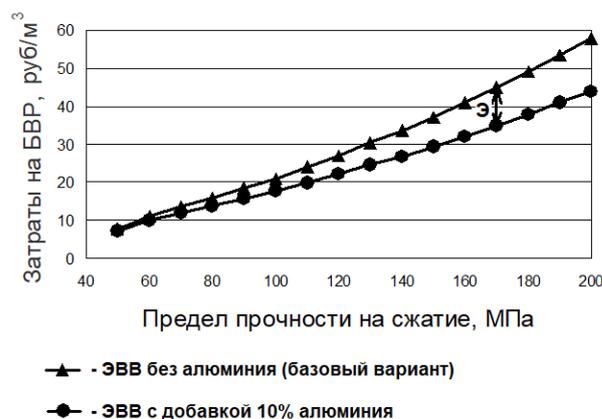


Рис. 3. Общие удельные затраты на БВР для пород различной прочности

Таблица 3

Расчет экономической эффективности ЭВВ с алюминием для пород прочностью 120 МПа,  $C_{бур} = 588,15$  руб./м

Показатели	Варианты расчета					
	1	2	3	4	5	6
Содержание алюминия, %	0	2	4	6	8	10
Стоимость ВВ $C_{ВВ}$ , руб./кг	13,42	15,89	18,35	20,82	23,29	25,75
Удельные затраты на взрывание $C_{взр}$ , руб./м <sup>3</sup>	11,51	11,85	12,13	12,36	12,55	12,71
Удельные затраты на бурение $C_{бур}$ , руб./м <sup>3</sup>	15,55	13,72	12,29	11,12	10,17	9,36
Общие удельные затраты на БВР $C_{БВР}$ , руб./м <sup>3</sup>	27,06	25,57	24,42	23,48	22,72	22,07

Анализ зависимостей на рис. 3 показывает, что при увеличении прочности пород экономическая эффективность использования ЭВВ с алюминием растет до 14 руб./м<sup>3</sup>, т.е. до 24%. Поэтому использование ЭВВ с горючей добавкой будет наиболее эффективным при взрывании пород высокой прочности. Таким образом, при существующих ценах применение ЭВВ с алюминием экономически выгодно и рекомендуется при прочности взрывааемых пород больше 60 МПа, когда экономическая эффективность превышает 10 %.

При увеличении стоимости алюминия до 200 руб., экономически эффективно применять ЭВВ с алюминием при прочности пород более 137 МПа, т.к. экономическая эффективность вариантов превышает 10 %. Если стоимость алюминия достигнет 300 руб., применять ЭВВ с алюминием будет экономически не выгодно (рис. 4).

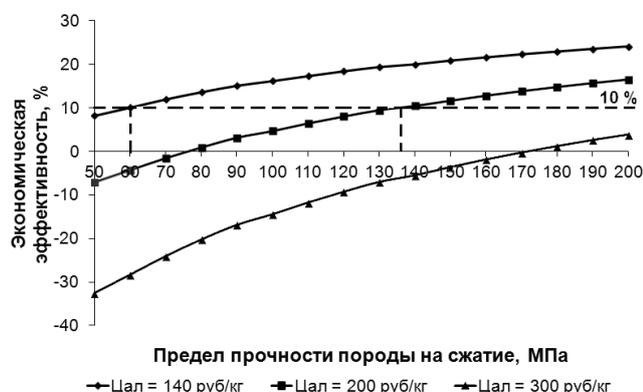


Рис. 4. Экономическая эффективность при изменении цен на алюминий

### Заключение

С введением в эмульсионное взрывчатое вещество алюминия: повышается теплота взрыва (до 68%); увеличивается сетка расположения скважин (до 29%); увеличивается выход взорванной горной массы (до 66%); уменьшается расстояние разлета кусков породы (до 12%); уменьшается объем бурения (до 40%); снижаются затраты на буровзрывные работы (до 24%). Чем выше прочность пород, тем больше экономическая эффективность использования ЭВВ с горючими добавками. При существующих ценах ЭВВ с алюминием рекомендуется применять при прочности пород на сжатие более 60 МПа.

### Сведения об авторах

**Симонов Павел Семенович** – канд. техн. наук, доц., доц. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: p.simonov@magtu.ru.

**Тептеев Георгий Николаевич** – студ. кафедры разработки месторождений полезных ископаемых, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tropikal400@mail.ru.

### Список литературы

1. Комащенко В.И., Воробьев Е.Д., Белин В.А. Перспективы развития промышленных взрывчатых веществ и применения современных технологий взрывных работ с учетом экологической безопасности. // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2017. – №3. – С. 157-167.
2. Колганов Е.В., Соснин В.А. Безопасность эмульсионных промышленных взрывчатых веществ // Записки Горного института. – 2007. – Т. 171. – С. 203-212.
3. Жученко Е.Н., Елизов О.Н. Современные взрывчатые вещества и технологии их применения // Записки Горного института. – 2005. – Т. 164. – С. 97-101.
4. Галушко Ф.И. Опыт практического применения пористой аммиачной селитры для производства эмульсионных взрывчатых веществ на АО «Ковдорский ГОК» // Горная Промышленность. – 2018. – №6 (142). – С. 52-54.
5. Cook M.A., Filler A.S., Keyes R.T., Partridge W.S., Ursenbach W. Aluminized explosives. // J Phys Chem. 1957. 61 (2). P. 189-196.
6. Arvind K.M., Agrawal H., Rout M. Effect of aluminum content on detonation velocity and density of emulsion explosives // Journal of Molecular Modeling. 2019. 25 (3). Article: 70. DOI: 10.1007/s00894-019-3961-3.
7. Дубнов Л.В., Бахаревич Н.С., Романов А.И. Промышленные взрывчатые вещества. – М.: Недра, 1988. – 359 с.
8. Кукиб Б.Н., Кутузов Б.Н. О возможных причинах аварий при производстве и применении взрывчатых смесей, содержащих алюминий // Безопасность труда в промышленности. – 2009. – №9. – С. 28-31.
9. Бейсебаев А.М., Тамбиев П.Г. Разработка и применение эмульсионных взрывчатых веществ // Горн. инф-анал. бюл. – 2010. – №12. – С. 231-235.
10. Симонов П.С., Слепцов О.В. Совершенствование взрывчатых составов на основе эмульсионного взрывчатого вещества Фортис // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2014. – Т.1. – №1. – С. 43-46.
11. Чэн Я.-Ф., Ма Х.-Х., Шень Чж.-У. Детонационные характеристики эмульсионных взрывчатых веществ, сенсibilизированных гидридом магния // Физика горения и взрыва. – 2013 – Т. 49. – №5. – С. 120-125.
12. Возгрин Р.А. Повышение качества дробления горной массы при применении скважинных зарядов эмульсионных взрывчатых веществ уменьшенного диаметра: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.20 – СПб.: 2015. – 23 с.
13. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Ч.1. Производственные процессы. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
14. Кузнецов В.А. Обобщенная прогнозная оценка себестоимости бурения взрывных скважин и шпуров // Горн. инф-анал. бюл. – 2007. – №12. – С. 126-136.

УДК 502

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМОВ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТАННЫХ ПРОСТРАНСТВ С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТНОЙ ВЫЕМКИ

Красавин А.В.<sup>1</sup>, Колесатова О.С.<sup>1,2</sup>, Нестерова О.А.<sup>1</sup>, Кутлугалямов Т.М.<sup>3</sup>, Ретюнских А.С.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

<sup>4</sup> ООО «НоваНэт», г. Москва

**Аннотация.** При подземной разработке месторождения маркшейдер производит съемку горных выработок и элементов залегания полезного ископаемого, по результатам которой составляет и систематически пополняет планы горных работ. При разработке рудных месторождений наиболее часто встречаются пустоты третьей группы, в которые невозможен доступ ни маркшейдера, ни инструмента. В этих случаях при съёмке точку установки инструмента выбирают в подходящих выработках (чтобы была видна часть пустоты) или в окраинной части пустоты на специальных выносных конструкциях. Применение традиционных методов маркшейдерских съемок и устаревших приборов замедляет процесс получения результатов. Зачастую исполнителям приходится находиться в зонах опасных природных и техногенных процессов. В статье рассмотрена возможность применения сканерной системы HERON Lite при съемке камер. Лазерная сканирующая система включает в себя следующие основные элементы: Heron Lite сканер; телескопическая веха (5 м); аккумулятор Heron Lite; блок управления (планшет); программное обеспечение «HERON® Desktop». Таким образом, можно сделать вывод, что применение лазерных сканирующих систем при съемке камер повышают их эффективность и обеспечивают безопасность при проведении маркшейдерских работ.

**Ключевые слова:** съемки, камеры (пустоты), эффективность и безопасность маркшейдерских работ, сканерная система HERON Lite, каркасная модель.

Подземная добыча полезных ископаемых в значительной мере связана с внедрением систем разработки, характеризующихся большим количеством различных видов подземных горных выработок, положение и состояние которых существенно меняется как в пространстве, так и во времени. Чем сложнее месторождение, тем важнее вопрос своевременной и точной увязки между собой подземных выработок.

Одной из основных задач маркшейдерской службы является выполнение комплекса работ по геометрическому обеспечению проведения горных выработок и очистных работ в соответствии с технической проектной документацией.

При подземной разработке месторождения маркшейдер производит съемку горных выработок и элементов залегания полезного ископаемого, по результатам которой составляет и систематически пополняет планы горных работ. Полная и своевременная маркшейдерская съемка горных выработок, и ориентирование их относительно земной поверхности является важнейшим условием безопасного ведения горных работ.

Применение традиционных методов маркшейдерских съемок и устаревших приборов замедляет процесс получения результатов. Зачастую исполнителям приходится находиться в зонах опасных природных и техногенных процессов.

Поэтому повышение эффективности маркшейдерских съемок и обеспечение безопасности производства маркшейдерских работ является актуальной задачей.

С точки зрения маркшейдерской съемки образовавшиеся пустоты условно разделяются на доступные и недоступные. К недоступным относят такие пустоты, к стенкам которых невозможен непосредственный доступ наблюдателя или этот доступ сопряжен с большой опасностью, хотя в отдельных случаях при этом возможно нахождение исполнителя в камере. Все остальные пустоты относят к категории доступных. В соответствии с характером съёмочных работ недоступные пустоты можно разделить на три группы. В пределах пустот первой группы возможно и допустимо нахождение маркшейдера с инструментом. К точности съёмки предъявляются обычно более высокие требования, которые могут быть выполнены благодаря возможности надежного контроля ме-

тодов съёмки. В пределы пустот второй группы маркшейдер попасть не может или его пребывание там запрещено существующими правилами безопасности. Съёмка может быть выполнена измерительными устройствами, доставленными в пределы пустот через какие-либо каналы.

При разработке рудных месторождений наиболее часто встречаются пустоты третьей группы, в которые невозможен доступ ни маркшейдера, ни инструмента. В этих случаях при съёмке точку установки инструмента выбирают в подходных выработках (чтобы была видна часть пустоты) или в окраинной части пустоты на специальных выносных конструкциях. Выбор метода съёмки пустот осуществляют, исходя из наличия доступа к снимаемой пустоте, его характеристики, а также цели и назначения съёмки. Выбор инструмента для съёмки обусловлен особенностями снимаемой пустоты, а именно: числом и расположением подходных выработок к очистному пространству, соотношением линейных размеров камеры, углами наклона стенок камеры, прилегающих к точке стояния инструмента. В практике разработки рудных месторождений применяются различные принципы и методы съёмки очистного пространства.

Тахеометрический метод основан на применении инструментов и способов съёмки (в комплексе с осветителями и проекторами светового излучения), дающих возможность определить полярные координаты съёмочных точек недоступных пустот. Метод используется для съёмок пустот первой и третьей категории.

Фотограмметрический метод съёмки в подземных условиях основан на определении координат точек очистной камеры посредством преобразования фотографических координат в истинные, что осуществляется обработкой фотографических снимков на специальных приборах.

Съёмка подземных пустот с помощью звуколокации. Физические методы маркшейдерских съёмок подземных пустот основаны на принципах преобразования акустических, радио- и световых волн в величины, характеризующие направление и длину измеряемого расстояния.

Применение традиционного оборудования не позволяет обеспечить безопасные условия труда, т.к. требует нахождения в очистном пространстве работников, производящих съёмку. Внедрение сканирующих систем позволяет повысить безопасность ведения работ при съёмке очистных камер, что имеет большое значение при принятой системе разработки на подземном руднике. Так как нахождение людей в очистном пространстве крайне опасно в силу того, что борта и кровля камеры не подлежат креплению и возникает

большая вероятность обрушения горной массы, а лазерная сканирующая система является горным инструментом, не требующим прямого контакта для ведения работ, и предназначена для съёмки опасных и недоступных полостей.

Лазерное сканирование – метод отображения реальной поверхности пространства в цифровой вид и представления результата набором точек в пространственной системе координат; инструментальную геодезическую съёмку, создание высокоточных цифровых ортофотопланов, топографических планов и карт; трехмерное моделирование рельефа, местности, инженерных объектов любой сложности. Сканирующая система полностью заменила используемые до этого методы съёмки с помощью тахеометров. Несложные в своем применении сканирующие системы позволяют повысить производительность маркшейдерских работ.

В настоящее время применение лазерного сканирования получило широкое распространение во многих областях – в проектировании и строительстве, маркшейдерском деле, геодезии, картографии, в формировании географических информационных систем (ГИС) и разработке дизайнерских решений на любой стадии производства работ. В данной работе рассмотрены следующие модели сканеров: Teledyne Optech CMS модель V500, HERON Lite компания Gexel, ZEB-Horizon компания “GeoSlam”, Void Scanner 150 и C-ALS от компании Carlson. В таблице приведены технические характеристики перечисленных сканеров.

Анализ данной таблицы показал, что по многочисленным техническим характеристикам для съёмки камер предпочтительней сканерная система HERON Lite компании Gexel, которая позволяет получить 3D-модель за короткое время. Рассмотрим применение данного прибора в условиях горного предприятия.

Лазерная сканирующая система включает в себя следующие основные элементы: Heron Lite-сканер; телескопическая вежа (5 м); аккумулятор Heron Lite; блок управления (планшет); программное обеспечение, которые представлены на рис. 1.



Рис. 1. Элементы лазерной сканирующей системы

Технические характеристики сканеров

Технические характеристики сканеров	Optech CMS модель V500	Компания Gexel HERON Lite	Компания Carlson		Компания GeoSLAM ZEB-Horizon
			VS150	C-ALS	
Диапазон действия: – минимальная дальность – максимальная дальность	50 см до 500 м	- <b>100 м</b>	0,5 м До 150 м	0,5 м До 150 м	- 100 м
Скорость сканирования, точек/с	57 600	<b>300 000</b>	200	200	300000
Точность линейных измерений, см	± 2	<b>± 3</b>	±1	±1	1-3
Разрешение:	0,02°	<b>0,1°</b>	0,1°	0,1°	0,1°
Область сканирования: – по вертикали – по горизонтали	от 0 до 320° от 0 до 360°	<b>от + 15° до - 15° от 0 до 360°</b>	от +135° до -135° от 0° до 360°	от + 90° до - 90° от 0° до 360°	от + 20° до - 20° от 0 до 360°
Точность отсчета угла:	±0,1°	<b>± 0,2°</b>	± 0,1°	± 0,2°	± 0,2°
Область применения	Съёмка камер и пустот	<b>Съёмка поверхностных объектов и подземных камер</b>	Съёмка камер и пустот	Съёмка камер и пустот	Съёмка поверхностных объектов и подземных камер
Особенности съёмки	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	<b>Без ограничений</b>	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	Привязка сканера к маркшейдерским точкам	Необходимость совпадения начала и конца съёмки
Стационарная установка сканера на месте съёмки	Требуется (с развёртыванием системы крепежных штанг и шестов)	<b>Не требуется (полностью мобильное решение)</b>	Требуется (с развёртыванием системы крепежных штанг и шестов)	Требуется (координация входа)	Требуется (с развёртыванием системы крепежных штанг и шестов)
Вес сканера, кг	7	<b>0,9</b>	5	5,9	1,3
Производитель	Канада	<b>Италия</b>	США	США	Австралия
Стоимость млн. руб.	8-10	<b>3-5</b>	3-5	8-10	4-5

Последовательность выполнения работ:

- упаковка и транспортировка системы к месту съёмки;
- настройка системы HERON® LITE (подключение блока питания, подключение планшета и запуск системы);
- начало съёмки (привязка сканера, внос сканера в камеру, вынос из полости);
- передача данных съёмки;
- импорт и обработка данных.

Подготовка системы является первоначальной и заключается в следующем: проверка состояния заряда Блока управления и аккумулятора, удостовериться в том, что все компоненты сканирующей системы упакованы надлежащим образом, далее осуществляется транспортировка системы к месту съёмки.

Основным этапом является непосредственно съёмка полости камеры, последовательность проведения съёмки: подключение аккумулятора, включение Блока управления, запуск на Блоке питания программы «HERON Lite», нажав «Survey», сканирующая головка приводится в рабочее положение, выбирается режим съёмки и название файла, устанавливаются параметры съёмки, начало съёмки, отслеживая процесс сбора данных на контроллере, осуществляется привязка лазерной

сканирующей головки, выключение контроллера, выключение блока питания.

Обработка данных производится в следующей последовательности: Импорт данных производится на рабочей станции запуском программы «HERON® Desktop», данный процесс полностью автоматизирован. Загрузка данных съёмки из планшета на компьютер, конвертация данных съёмки в файл DXF для импорта в программу Micromine для дальнейшей обработки.

Рассмотрим результаты съёмки сканером HERON Lite камеры № 1-81. Камера имеет следующие параметры: высота – 80 м; длина – 60 м; ширина – 20 м. Камера представлена на рис. 2

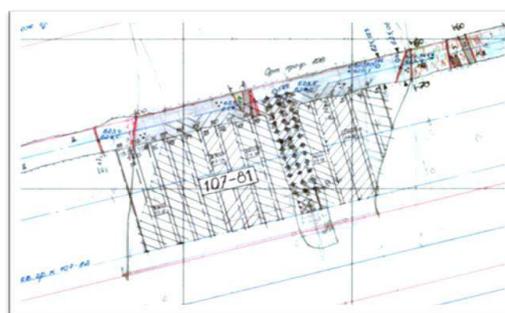


Рис. 2. Камера

Время сканирования камеры составило 6 мин 26 с, траектория 112, результат съёмки представлен на рис. 3.

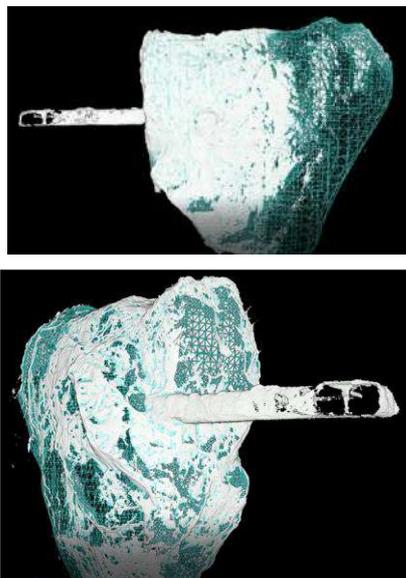


Рис. 3. Результат съёмки

Далее по полученным данным была построена каркасная модель, которая представлена на рис. 4.

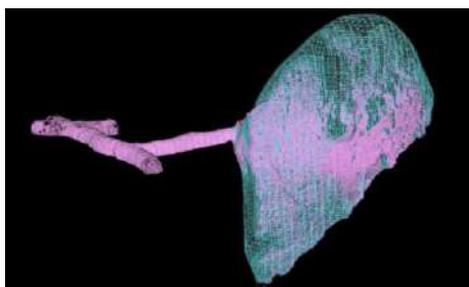


Рис. 4. Каркасная модель камеры

По результатам съёмки был определен объем камеры, который составил 52 740 м<sup>3</sup>.

Таким образом можно сделать вывод, что применение ЛСС при съёмке камер, повышают их эффективность и обеспечивают безопасность при проведении маркшейдерских работ.

#### Список литературы

1. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03). Сер. 07. Вып. 15/ Колл. авт. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности и промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 120 с.
2. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр (РД 07-408-01): утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 22.05.01 № 18.
3. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль: нормативное обеспечение охраны объектов от вредного влияния горных работ и их ведения в опасных зонах: сб. документов / Федер. служба по эколог., технолог. и атом. надзору; А. И. Субботин [и др.]. – М.: Промышленная безопасность, 2008. – 212 с.
4. Маркшейдерское дело: учебник для вузов. В 2 ч. / под ред. И.Н. Ушакова. – 3-е изд., перераб., и доп. – М.: Недра, 1989.
5. Оглоблин Д.Н. Маркшейдерское дело: учебник для вузов. – М.: Недра, 1981.

#### Сведения об авторах

**Красавин Алексей Викторович** – канд. техн. наук, зав. кафедрой РМПИ, Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма. E-mail: a.krasavin@tu-ugmk.com.

**Колесатова Оксана Сергеевна** – ст. преп. кафедры РМПИ, Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма. E-mail: okolesatova@mail.ru.

**Нестерова Оксана Алексеевна** – студ. гр.16104, кафедра РМПИ, Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма. E-mail: oksana\_nesterova\_98@mail.ru.

**Кутлугалямов Талип Маратович** – студ., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Ретюнский Александр Сергеевич** – техн. дир. ООО «НованЭт», г. Москва. E-mail: retyunskikh@scanmax.ru.

УДК 669. 292.3 : 669. 054. 82

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ВАНАДИЯ КИСЛОТНЫМ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕМ КОНЦЕНТРАТОВ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ РУД УРАЛА

Махоткина Е.С., Шубина М.В.

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

**Аннотация.** Показана перспективная промышленная ценность и прогнозные ресурсы уральских титаномагнетитовых руд. Проанализированы особенности химического и минералогического состава этих руд и концентратов. В связи с разработкой технологии производства агломерата из титаномагнетитовых руд Урала и получения для этого железосодержащих концентратов целью исследования являлось определение возможности извлечения ванадия кислотным выщелачиванием из указанных концентратов.

Для определения степени извлечения ванадия из образцов после выщелачивания проводили анализ осадочного кека с фильтров методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на энергодисперсионном спектрометре «ARL QUANT 'X», а фильтратов – методом титрования стандартным раствором соли Мора. В результате экспериментов установлено, что кислотным выщелачиванием возможно экстрагировать ванадий из проб железосодержащих концентратов уральских титаномагнетитовых руд с применением раствора соляной кислоты HCl без проведения термического этапа обработки концентрата. На степень извлечения ванадия оказывает влияние концентрация кислоты: уменьшение концентрации HCl с 30 до 10% привело к снижению степени извлечения ванадия с 44 до 15%.

Возможные причины невысокой степени извлечения ванадия связаны с наличием трудно вскрываемых минералов ванадия; низким содержанием компонента в исходном материале; недостаточным аффинажем ванадия от сопутствующих элементов – примесей.

**Ключевые слова:** ванадий, титаномагнетитовая руда, концентрат, кислотное выщелачивание, степень извлечения ванадия.

### Введение

На Урале находятся одни из крупнейших в мире ресурсы титаномагнетитовых (титаносодержащий магнетит  $(Fe, Ti)Fe_2O_4$ ) вкрапленных железных руд [1, 2]. Они делятся на две группы по составу и структурным особенностям: мало- и среднетитанистые (качканарско-волковский тип) и высокотитанистые (кусинско-куйбасовский тип) [1–5]. Титаномагнетит и апатит при высоких содержаниях становятся рудообразующими. Форма выделения титаномагнетита ксеноморфная с образованием сидеронитовой структуры [2, 4]. Уральские месторождения титан- и ванадийсодержащих магнетитов входит в комплекс вулканогенных и интрузивных пород и представляет особый интерес с металлогенической точки зрения.

В настоящее время в черной металлургии применяются только ванадийсодержащие качканарско-волковские вкрапленные руды Платиноносного пояса Урала (Свердловская область). Разведанные запасы Качканарского месторождения составляют 12,6 млрд т. Добываемая руда содержит около 16% железа, а в получаемом ванадий-

содержащем магнетитовом концентрате – железа 61,45% и ванадия 0,6% [1–3].

Месторождения вкрапленных низкотитанистых магнетитовых руд Челябинской области пока не используются. При этом оцененные прогнозные ресурсы указанного типа руд по месторождениям, связанным с ультраосновными массивами Челябинской области, составляют – Кондуrowsким (0,5 млрд т), Субутакским (1,5 млрд т), Амамбайским (4 млрд т), Сураямским (11 млрд т). В целом запасы малотитанистых руд по Челябинской области оцениваются в 17–20 млрд т со средним содержанием железа 14–15%, оксида титана – не более 1,3%, а оксида ванадия – до 1,2% [3]. Предполагается, что при обогащении этих руд возможно получение ванадийсодержащего магнетитового концентрата с содержанием железа 56 – 66%, что является весьма эффективным с экономической точки зрения [1, 3].

При освоении новых источников сырья одной из важнейших решаемых задач является увеличение рентабельности их освоения [2–5]. Рентабельная переработка сырья с низким содержанием ценных компонентов (так называемое «забалансовое» сырьё) возможна только при использовании эффективных способов с комплексным извлечением всех металлов.

В связи с разработкой технологии производства агломерата из титаномагнетитовых руд Урала и получения для этого железосодержащих концентратов целью проведенного исследования являлось определение возможности извлечения ванадия кислотным выщелачиванием из ванадийсодержащего магнетитового концентрата. На основе имеющегося научного задела и полученных ранее данных по извлечению ванадия из шлаков и другого ванадийсодержащего сырья решались следующие задачи исследования [6–10]:

- выявление принципиальной возможности деванадации;
- извлечение ванадия из руд без термического этапа;
- влияние концентрации выщелачивающего реагента на степень извлечения металлов.

Схемы технологических процессов предусматривают различные виды выщелачивания ванадийсодержащих материалов [11–13]. Руды обрабатывают кислотами (соляной, серной) различной концентрации, при этом используется одно-, двух-, трёх- и более стадийное выщелачивание. В качестве выщелачивающего реагента возможно применение водных растворов соды с дальнейшей обработкой одноатомным спиртом и расслаиванием смеси на две фазы; применение растворов, состоящих из свободной и связанной серной кислоты (2:1) ( $\text{FeSO}_4$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{HNO}_3$ ). Изменяются время и температура процесса выщелачивания.

### Материалы и методы исследования

Для исследований была взята проба концентрата, полученная в результате переработки исходной Уральской титаномагнетитовой руды. Химический состав пробы концентрата представлен в табл. 1.

Основным рудным минералом пробы является магнетит, сросшийся с ильменитом, который интенсивно разрушен и замещен сфеном (силикат титана и кальция  $\text{CaTiSiO}_5$ ). Основным ценным компонентом проб является железо, содержание которого по данным химического анализа – 56,5%, содержание оксида ванадия – 0,22%. Размеры частиц исследуемой пробы 0,25 мм.

В первой серии экспериментов образцы концентрата массой 10 г подвергали кислотному выщелачиванию при температуре 60–63°C и атмосферном давлении в течение одного часа. Выщелачивающим реагентом являлась 10%-я и

20%-я соляная кислота. Полученная пульпа содержала около 20 % твёрдой фазы (масс.%).

Во второй серии экспериментов кислотное выщелачивание проводили 30%-м раствором соляной кислоты, длительность процесса – один час, температура около 70°C при атмосферном давлении. Твёрдая фаза составляла порядка 19% (масс.).

После выщелачивания отделили маточный раствор, осадок промыли дистиллированной водой и высушили на фильтре при комнатной температуре. Осадочный кек с фильтров направили на анализ методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии на энергодисперсионном спектрометре «ARL QUANT X» [14, 15]. Смесь маточных растворов и фильтратов оттитровали стандартным раствором соли Мора в присутствии избытка фосфорной кислоты, связывающей ионы железа (III) в бесцветный комплекс (внутренний индикатор – фенилантраниловая кислота) [16].

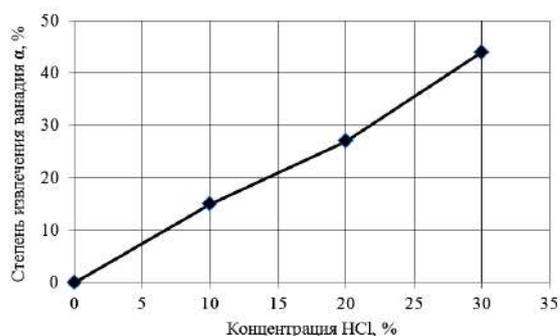
### Результаты и их обсуждение

Результаты экспериментов по извлечению ванадия из образцов концентрата уральских титаномагнетитов путем их выщелачивания соляной кислотой HCl с разной концентрацией представлены в табл. 2 и на рисунке.

Таблица 2

Степень извлечения ванадия при разных концентрациях выщелачивающего реагента HCl

Номер опыта	Концентрация HCl		
	10%	20%	30%
1	14,5	26,6	43,4
2	15,9	28,1	46,0
3	13,8	27,8	45,4



Зависимость средней степени извлечения ванадия из необоженного концентрата уральских титаномагнетитов от концентрации HCl в выщелачивающем растворе

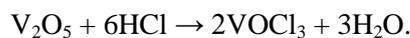
Таблица 1

### Химический состав пробы концентрата Уральских титаномагнетитов

Содержание компонентов, %							
$\text{Fe}_{\text{общ}}$	$\text{SiO}_2$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{TiO}_2$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	$\text{Co}_3\text{O}_4$
56,5* -58,2	8,46-10,8*	2,21-2,47*	3,35-4,04*	1,44* -1,62	0,22* -0,24	0,22* -0,28	0,29

\* - данные собственных исследований

Стадию окислительного обжига для указанных образцов не проводили. Химические реакции выщелачивания концентрата выражены в виде следующих уравнений:



Анализ результатов экспериментов показал, что кислотным выщелачиванием возможно экстрагировать ванадий из пробы железосодержащего концентрата титаномагнетитов Урала. На степень извлечения ванадия оказывает влияние концентрация кислоты: уменьшение концентрации HCl с 30 до 10% привело к снижению степени извлечения ванадия с 44 до 15%.

Возможные причины невысокой степени извлечения ванадия связаны с наличием трудновскрываемых минералов ванадия, низким содержанием компонента в исходном материале, недостаточным аффинажем ванадия от сопутствующих элементов-примесей.

### Заключение

Таким образом, проведённая работа позволила наметить пути поиска эффективных способов вскрытия упорных минералов ванадия (изучение минералогического состава руды), показала возможность извлечения ванадия из ванадийсодержащего магнетитового концентрата путем кислотного выщелачивания с применением HCl без проведения термического этапа обработки концентрата руды, выявила положительное влияние увеличения концентрации выщелачивающего реагента на степень извлечения ванадия.

Дальнейшие исследования в данной области предусматривают более глубокое изучение и устранение причин невысокой степени извлечения ванадия для повышения эффективности переработки титаномагнетитов Урала с разным химическим составом.

### Список литературы

1. Титаномагнетиты Урала и технология их переработки. – URL: <http://metal-archive.ru/titanomagnetity/907-titanomagnetity-urala-i-tehnologiya-ih-pererabotki.html>.
2. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 2. – С. 5–7.
3. Жилин И.В., Плохих Н.А. Суроямское месторождение комплексных ванадийсодержащих руд – важнейшая потенциальная сырьевая база для черной металлургии Челябинской области // Современное состояние и перспективы использования сырьевой базы Челябинской области: сборник научных статей научно-практической конференции. – Челябинск, 2000. – С. 93-95. – URL: <https://docplayer.ru/28148025-I-v-zhilin-n-a-plohih-puti-razvitiya-zhelezorudnoy-bazy-chelyabinskoy-oblasti.html>.
4. Панишев Н.В., Бигеев В.А. Переработка комплексных руд Южного Урала глубокой металлизацией // Теория и технология металлургического производства. – 2016. – № 2 (19). – С. 68-70.
5. Разработка технологии переработки хвостов Кусинских титаномагнетитовых руд с извлечением титана и ванадия / Бигеев В.А., Гришин И.А., Потапова М.В., Соколова Е.В. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 93.
6. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Извлечение ванадия из рудного и техногенного сырья Кусинского месторождения титаномагнетитов // Теория и технология металлургического производства. – 2017. – № 3 (22). – С. 22-25.
7. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Шлаки процесса прямого восстановления железа как источник получения ванадия и титана // Теория и технология металлургического производства. – 2015. – № 2 (17). – С. 60-65.
8. Ванадийсодержащие минеральные и техногенные материалы / Шубина М.В., Махоткина Е.С., Горбунова А.В., Мукаев Е.Г., Чурилов А.Е. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – № 2. – С. 72-75.
9. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Извлечение титана из шлака процесса прямого восстановления титаномагнетитов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2015. – №1. – С.255–258.
10. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Извлечение ценных компонентов из шлака процесса ITmk3 // Металлургия: технологии, инновации, качество / под ред. Е.В. Протопопова. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2015. – С. 340-344.
11. R. Li, T. Liu, Y. Zhang, J. Huang, C. Xu. Efficient Extraction of Vanadium from Vanadium–Titanium Magnetite Concentrate by Potassium Salt Roasting Additives // Minerals. – 2018. – 8 (25). – pp.2-14.
12. Извлечение и восстановление ванадия из руд (2015). – URL: <http://www.findpatent.ru/patent/256/2561554.html>.
13. V.I. Sachkov, R.A. Nefedov, V.V. Orlov, R.O. Medvedev, A.S. Sachkova. Hydrometallurgical Processing Technology of Titanomagnetite Ores // Minerals. – 2018. – 8 (1). – P. 2.
14. Шубина М.В., Махоткина Е.С. Исследование возможности извлечения ванадия из шлаков переработки титаномагнетитов // Теория и технология металлургического производства. – 2013. – № 1 (13). – С. 75-77.
15. Махоткина Е.С., Шубина М.В., Крылова С.А. Растворы [Электронный ресурс]: учебное пособие /– Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2014. – 93 с. – Режим доступа: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?na>

[me=1346.pdf&show=dcatalogues/1/1123798/1346.pdf](#)  
&view=true – Загл. с титул. экрана.

16. Махоткина Е.С., Шубина М.В. Экологические ре-

сурсосберегающие аспекты использования техно-  
генного ванадийсодержащего сырья // Черная ме-  
таллургия. – 2018. – №3 (1419). – С.81–86.

#### Сведения об авторах

**Махоткина Елена Станиславовна** – канд. техн. наук, доц. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: lena.makhotkina@yandex.ru.

**Шубина Марианна Вячеславовна** – канд. техн. наук, доц. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: shubina\_mar@mail.ru.

---

УДК 621.778

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖИМОВ ВОЛОЧЕНИЯ УГЛЕРОДИСТОЙ ПРОВОЛОКИ НА ОСНОВЕ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ НОВЫХ МЕТОДИК РАСЧЕТА МАРШРУТОВ ВОЛОЧЕНИЯ

Сметнёва Н.Ю., Усанов М.Ю., Харитонов В.А.

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

**Аннотация.** В настоящей работе предложен способ повышения конкурентоспособности высокоуглеродистой проволоки и ресурсосбережения в процессе ее производства посредством проектирования рационального режима волочения. Выбор маршрутов волочения следует осуществлять на основе оценки напряженного состояния металла в очаге деформации и с учетом распределения нормального давления металла на волоку, рассмотренного в данной статье. В рамках работы проведено моделирование волочения проволоки в программном комплексе DEFORM для различных комбинаций единичных обжатий, углов рабочей зоны волоки, радиусов зоны перехода рабочего в калибрующий канал, коэффициентов контактного трения и скоростей волочения. По результатам компьютерного моделирования получена кривая распределения нормального давления металла в рабочем канале монолитной волоки. С помощью разработанной ранее методики оценки напряженного состояния металла и представленном характере распределения нормального давления металла в рабочей зоне волоки проведены оценка и совершенствование существующего маршрута волочения проволоки диаметром 3,06 мм из стали марки 80, предназначенной для изготовления арматурных прядей. Экспериментальная проверка предложенного режима волочения подтвердила эффективность предложенного подхода к проектированию маршрутов волочения проволоки.

**Ключевые слова:** волочение, маршрут волочения, проволока, очаг деформации, напряженное состояние, нормальное давление, волока.

На сегодняшний день на рынке металлоизделий широко представлена продукция из углеродистой стали. Одним из востребованных товаров является углеродистая проволока, применяемая для изготовления канатов, пружин, железобетонных конструкций и др. Важным фактором, определяющим конкурентоспособность данной проволоки на рынке и обеспечивающим ресурсосбережение в процессе ее изготовления, является режим холодной пластической деформации (волочения). Существующие методики проектирования маршрутов волочения проволоки построены на выборе степени суммарной и единичной деформации, кратности волочения, геометрии волок с последующей проверкой равномерности деформации, вычислением коэффициента запаса прочности и энергозатрат. Помимо этого необходимо проведение оценки напряженного состояния металла в очаге деформации для обеспечения лучшей проработки сечения проволоки, а также определение величины нормального давления металла на волоку, что позволит увеличить срок службы инструмента.

Напряженное состояние металла в очаге деформации можно оценить по апробированной ра-

нее методике через величину гидростатического напряжения, размер зоны растяжения (расстояние между конусами основных линий течения металла в очаге деформации) и дельта-параметр [1-4]. Помимо напряженного состояния необходимо проведение оценки величины нормального давления металла на стенки канала волоки в процессе пластической деформации и выбор режима, обеспечивающего наибольшую стойкость инструмента.

Определение нормального давления металла на волоку проводилось многими исследователями [5-10] с помощью метода линий скольжения, использования точечных месдоз и тензодатчиков, с помощью математических расчетов и компьютерного моделирования. По результатам исследований были получены различные данные о характере распределения нормального давления металла в рабочей зоне волоки (рис. 1).

В настоящей работе для оценки характера распределения нормального давления в рабочей зоне волоки и зависимости его величины от параметров процесса волочения проведено моделирование волочения проволоки в программном комплексе DEFORM 2D для различных комбинаций единичных обжатий ( $q=8,0-41,0\%$ ), рабочих углов волоки ( $\alpha=3-8^\circ$ ), радиусов зоны перехода рабочего

в калибрующий канал (далее – зоны перехода) ( $r=(0,5-3,0)d_1$  мм), коэффициентов контактного трения ( $f=0-0,1$ ) и скоростей волочения ( $v=0,5-15,0$  м/с). При моделировании в качестве заготовки принята нормализованная проволока диаметром 6,80 мм с прочностью 980 Н/мм<sup>2</sup> из углеродистой стали. Проволока является упруго-пластическим, волока – упругим объектом, количество элементов сетки – 8000 шт., форма волок – № 12 по ГОСТ 9453, сплав ВК6. По результатам моделирования получена кривая распределения нормального давления  $p$  в рабочем конусе волоки (рис. 2), характеризующаяся тремя экстремумами: Max1 – в месте сопряжения заготовки со стенкой рабочей зоны волоки, Min – приблизительно в центре контактной поверхности в рабочей зоне, Max2 – в конце рабочей зоны волоки. Аналогичные кривые (рис. 1, а), полученные экспериментально,

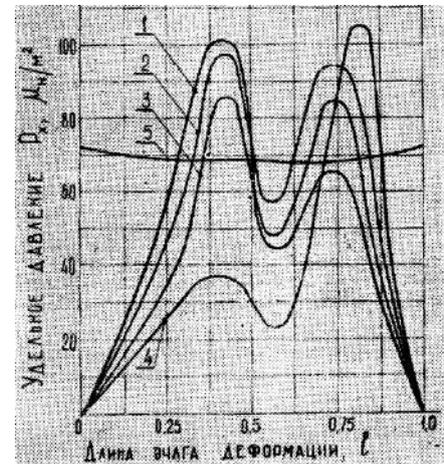
приведены в работе О. Павельски и О. Армстронфа [5]. Расположение максимальных значений нормального давления в рабочем конусе волоки соответствует областям изменения направлений течения металла в очаге деформации.

В процессе волочения наиболее интенсивный износ волоки происходит в месте сопряжения проволоки со стенками рабочей зоны (кольцевой износ) и в зоне перехода, что косвенно подтверждает наличие Max1 и Max2 (рис. 3).

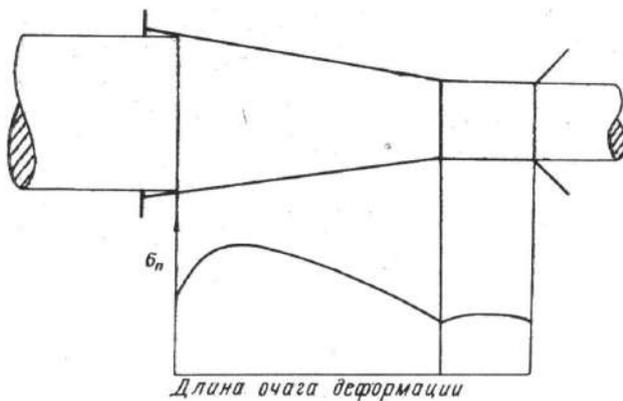
По результатам компьютерного моделирования установлено, что наибольшее влияние на величину нормального давления оказывает угол рабочей зоны волоки и единичное обжатие (рис. 4). Увеличение угла рабочей зоны волоки приводит к росту нормального давления, повышение единичной деформации – к снижению.



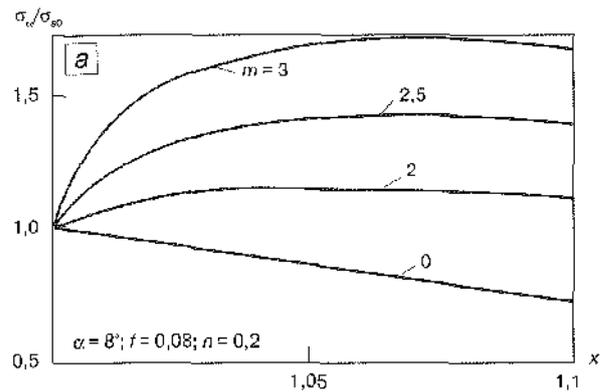
а



б



в



г

Рис. 1. Кривые распределения нормального давления в волоке, полученные различными исследователями: а – О. Павельски и О. Армстронф (1967 г.); б – С.П. Гуров (1972 г.); в – В.П. Северденко и В.З. Жилкин (1970 г.); г – Г.Л. Баранов (2014 г.)

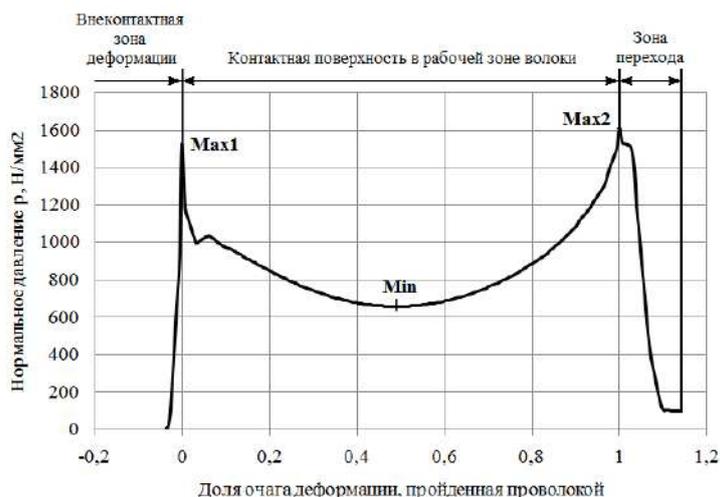


Рис. 2. Распределение нормального давления на контактной поверхности проволоки с волокой при  $q=20\%$ ,  $\alpha=6^\circ$ ,  $f=0,08$



Рис. 3. Виды износов рабочей зоны волокна, формирующихся в процессе эксплуатации

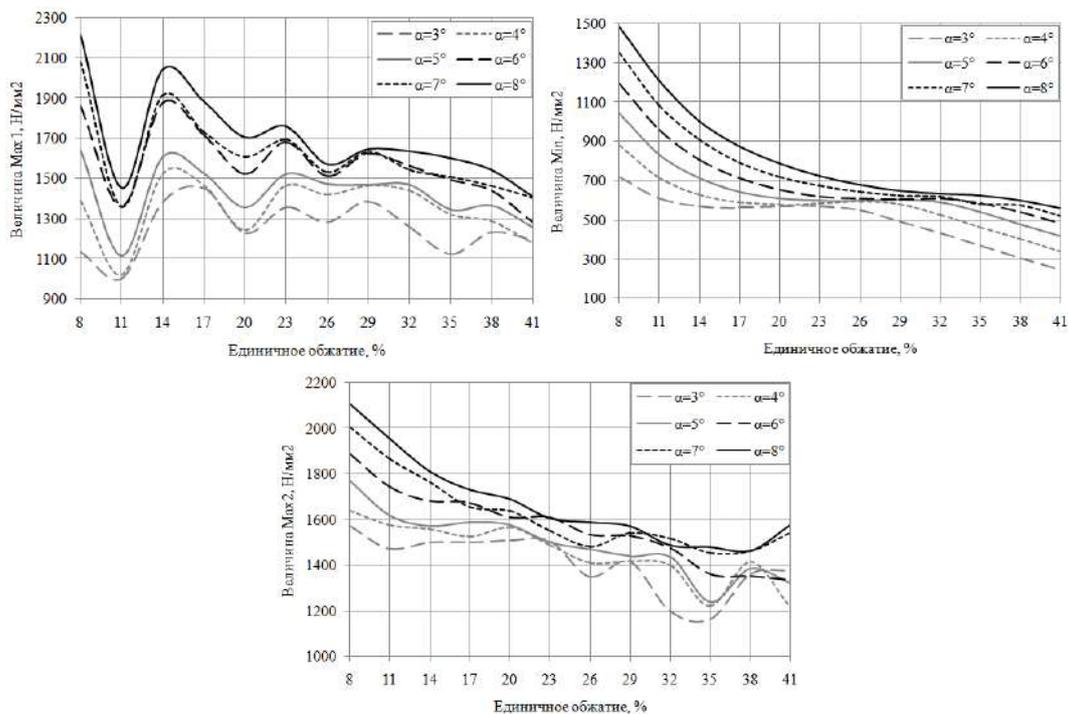


Рис. 4. Кривые изменения экстремальных значений нормального давления при варьировании полуугла  $\alpha$  и едиичного обжатия  $q$  ( $r \rightarrow 0$ ,  $f=0,08$ ,  $v=0,5$  м/с)

В меньшей степени изменение давления происходит при варьировании радиуса зоны перехода: с его увеличением значения  $Max1$  и  $Min$  растут,  $Max2$  – снижается (рис. 5). Изменение коэффициента трения и скорости волочения практически не оказывает влияния на значение нормального давления (рис. 6).

На основе разработанной ранее методики оценки напряженного состояния металла в очаге деформации с учетом приведенных зависимостей нормального давления от различных параметров, осуществлен анализ действующего маршрута волочения проволоки диаметром 3,06 мм для арматурных канатов диаметром 9,00 мм по ГОСТ 13840 из стали марки 80. Действующий режим

волочения: 8,00-7,00-6,20-5,50-4,90-4,40-3,95-3,60-3,30-3,06 мм, используются волокна с углом рабочего конуса  $2\alpha=12^\circ$ . Усовершенствованный маршрут волочения: 8,00-7,00-6,20-5,50-4,90-4,35-3,85-3,40-3,06 мм, для протяжек № 4-7 используются волокна с углом  $2\alpha=10^\circ$ , для остальных – с  $2\alpha=12^\circ$ . Исходным материалом для волочения является сорбитизированная катанка диаметром 8,00 мм, ее характеристики приведены в табл. 1 (дробь в таблице: числитель – минимальное-максимальное, знаменатель – среднее значение параметра). Новый маршрут должен повысить равномерность проработки сечения металла, стойкость волокон и снизить обрывность при свивке проволоки в арматурный канат.

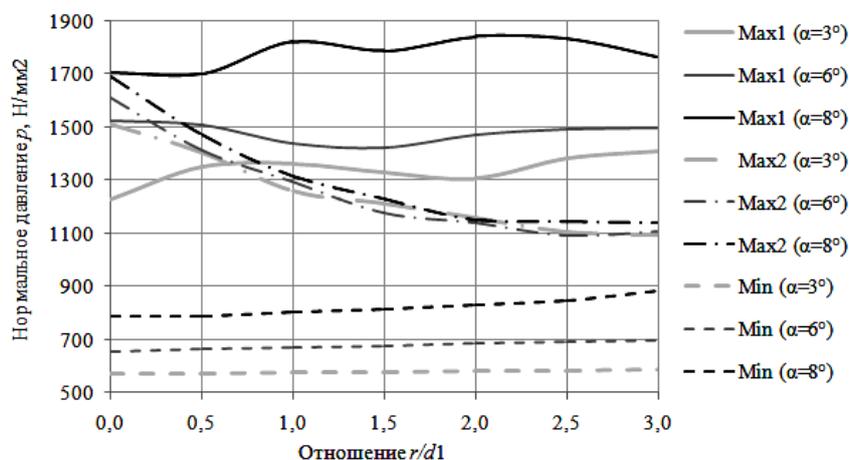


Рис. 5. Кривые изменения экстремальных значений нормального давления при варьировании полуугла  $\alpha$  и радиуса зоны перехода  $r$  ( $q=20\%$ ,  $f=0,08$ ,  $v=0,5$  м/с)

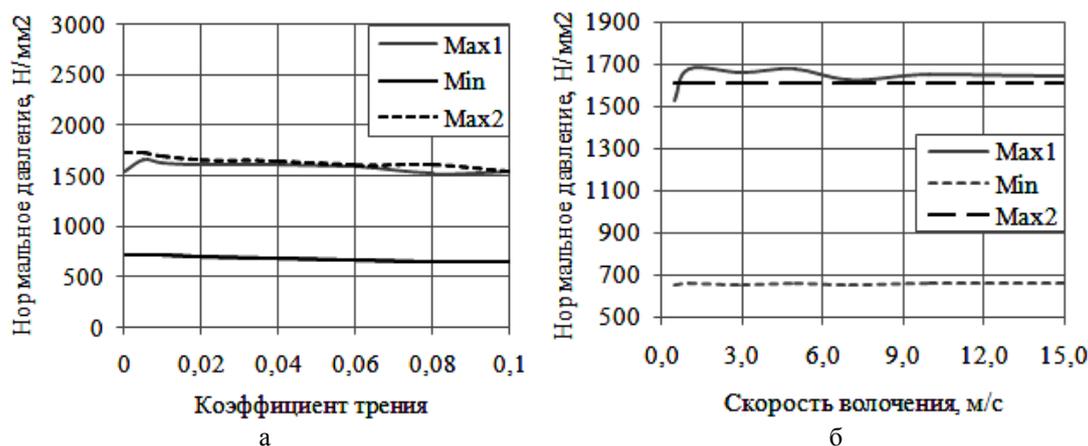


Рис. 6. Кривые изменения экстремальных значений нормального давления при варьировании: а – коэффициента трения  $f$  ( $q=20\%$ ,  $\alpha=6^\circ$ ,  $r \rightarrow 0$ ,  $v=0,5$  м/с); б – скорости волочения  $v$  ( $q=20\%$ ,  $\alpha=6^\circ$ ,  $r \rightarrow 0$ ,  $f=0,08$ )

Таблица 1

Характеристики сорбитизированной катанки диаметром 8,00 мм

Содержание химических элементов, %								Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Относительное сужение, %
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu		
0,79	0,56	0,24	0,006	0,011	0,06	0,04	0,01	$\frac{1080-1180}{1125}$	$\frac{31,0-42,0}{37,0}$

Для используемого режима волочения неравномерность деформации по сечению проволоки ( $\Delta$ -параметр) находится в диапазоне 1,57-2,78, а размер зоны растяжения  $h=2,02-2,79$  мм. В действующем маршруте –  $\Delta$ -параметр – 1,41-1,73,  $h=1,05-2,79$  мм, таким образом, достигается более глубокая проработка сечения проволоки и уменьшение зоны действия растягивающих напряжений.

Волочение проволоки в производственных условиях осуществлялось через сборные волокнистые станы MRL, смазка – TRAXIT, скорость волочения – 7,0 м/с. Перед волочением сорбитизированную канатку подвергли обработке в растворе серной кислоты с последующим нанесением буры.

Для анализа распределения нормального давления в рабочем конусе волокни, а также оценки энергетических параметров процесса волочения проведено моделирование режимов волочения в программном комплексе DEFORM 2D. При моделировании проволока – упруго-пластический, волокни – упругий объект, начальная прочность заго-

товки  $\sigma_b=1125$  Н/мм<sup>2</sup>, коэффициент контактного трения  $f=0,05$ . Полученные в результате моделирования экстремальные значения нормального давления представлены на гистограммах (рис. 7). Для предложенного маршрута волочения проволоки диаметром 3,06 мм характерно меньшее, чем для действующего маршрута, значение нормального давления  $Max1$  и  $Min$  в рабочей зоне волокни. Величины  $Max2$  для обоих маршрутов близки. Соответственно, новый маршрут волочения должен обеспечить большую стойкость волок.

Механические свойства проволоки диаметром 3,06 мм, протянутой по действующему и новому маршрутам, представлены в табл. 2.

Применение нового маршрута волочения позволило повысить уровень механических свойств проволоки за счет лучшей проработки сечения при неизменной расчетной величине энергозатрат (суммарное усилие волочения для действующего маршрута – 55,9 кН, для усовершенствованного – 55,3 кН). Обрывов в процессе волочения не зафиксировано.

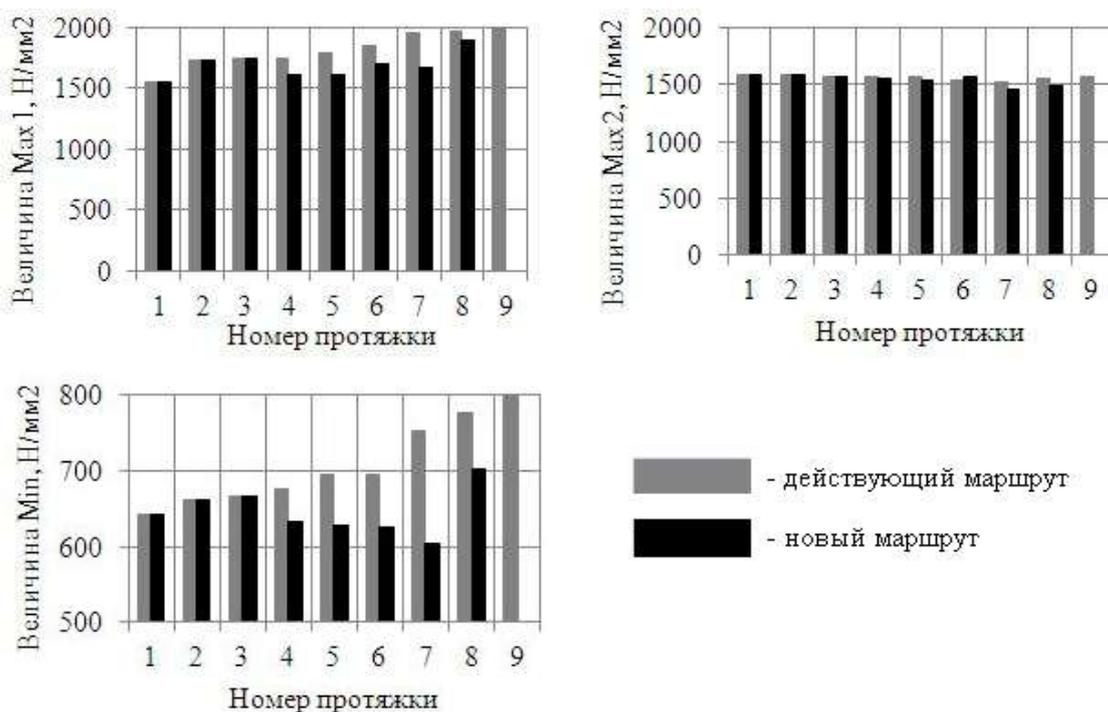


Рис. 7. Гистограммы экстремальных значений нормального давления ( $Max1$ ,  $Min$ ,  $Max2$ ) в рабочем конусе волокни по двум маршрутам волочения

Таблица 2

Механические свойства проволоки диаметром 3,06 мм

Маршрут волочения	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>	Число перегибов	Число скручиваний
Действующий	1760-1930	10,0-13,0	13,0-16,0
	1840	11,0	14,5
Новый	1850-1970	11,0-14,0	15,0-17,0
	1910	13,0	15,3

При свивке канатов из проволоки, протянутой по усовершенствованному маршруту, обрывность составила 0,043 обр./т. Для сравнения обрывность при свивке канатов из проволоки, но протянутой по действующему маршруту, составила 0,062 обр./т, что свидетельствует о положительном влиянии предложенного режима волочения на технологичность металла.

Таким образом, предложенный маршрут волочения обеспечивает получение проволоки для арматурных канатов, полностью удовлетворяющей требованиям нормативной документации. Уровень прочностных и пластических характеристик готовой проволоки несколько выше при использовании нового маршрута, расчетные значения энергозатрат не превышают их величину для действующего маршрута, отмечено снижение обрывности проволоки (на 30 %) при ее свивке в арматурный канат. Полученные значения нормального давления указывают на снижение расхода волок при использовании нового маршрута.

#### Список литературы

1. Методика совершенствования и проектирования маршрутов волочения проволоки / М.Ю. Усанов, В.А. Харитонов, Л.Э. Пыхов, Н.Ю. Сметнёва // Сталь. – 201. – № 6. – С. 42-43.
2. Усанов М.Ю. Проектирование маршрутов волочения в монолитных волоках на основе анализа напряженного состояния проволоки в очаге деформации // Обработка сплошных и слоистых материалов. – 2017. – С. 26-31.
3. Харитонов В.А., Усанов М.Ю., Сметнёва Н.Ю. Совершенствование технологии производства закаленно-отпущенной пружинной проволоки // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2018. – Т.1. – С. 33-36.
4. Сметнёва Н.Ю., Харитонов В.А. Экспериментальная проверка новой методики проектирования маршрутов волочения высокоуглеродистой проволоки // Материалы пятнадцатой Всероссийской научно-практической конференции студентов и аспирантов, 25-26 ноября 2018 г. / редколлегия: Ю.И. Еременко, Е.В. Ильичева, Л.Н. Крахт, А.А. Кожухов, А.В. Макаров, М.С. Демьяненко – Старый Оскол, 2018. – Том I. – С. 98-100.
5. Pawelski O., Armstroff O. Messung der Druckverteilung beim Holzbug von Rohren und beim Ziehen von Rundstaben // Archiv fur das Eisenhüttenwesen, 1967. – P. 527-534.
6. Enghag P. Steel Wire Technology. – Sweden: Örebro University, 2010. – P. 351.
7. О распределении нормальных контактных напряжений при волочении / С.П. Гуров, Ю.И. Коковин, Ю.С. Артамонов и др. // Теория и практика прокатно-волочильного производства: сб. науч. тр. – Вып. 95. – Магнитогорск, 1972. – С. 48-51.
8. Королёв Н.А., Гуров С.П. Метод кольцевых аномалий // Теория и практика производства метизов: сб. науч. тр.– Вып. 7. – Магнитогорск, 1974. – С. 139-143.
9. Квактун В.Б. Механика процесса формоизменения. автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Магнитогорск, 1974. – 22 с.
10. Каргин В.Р., Каргин Б.В., Колесникова С.Ю. Распределение контактных напряжений в процессе волочения круглых изделий // Известия вузов. Цветная металлургия. – № 4. – 2013. – С. 25-28.

#### Сведения об авторах

**Сметнёва Наталия Юрьевна** – аспирант гр. МТа-18-2, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск. E-mail: natalibox92@mail.ru

**Усанов Михаил Юрьевич** – канд. техн. наук, ст. преп. каф. МиС, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», филиал в г. Белорецке. E-mail: barracuda\_m@mail.ru.

**Харитонов Вениамин Александрович** – канд. техн. наук, проф. кафедры технологий обработки материалов ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И.Носова», г. Магнитогорск. E-mail: hva-46@yandex.ru.

УДК 621.609.017

## ОПТИМИЗАЦИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СТАЛЕЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ УДАРНО-АБРАЗИВНОЙ СТОЙКОСТИ

Братковский Е.В., Турушева А.И.

ФГБОУ ВО «НФ НИТУ МИСиС», г. Новотроицк

**Аннотация.** В работе изучали совместное влияние различных карбидообразующих элементов (хрома, марганца, титана, молибдена, бора, вольфрама, ниобия) на комплекс технологических свойств среднелегированных сталей: абразивную (АС), ударно-абразивную (УАС) стойкости и твердость при минимальной себестоимости.

**Ключевые слова:** износ, ударно-абразивная стойкость, легирование, билы, износостойкость.

По данным ЮНЕСКО человечество до 10% всей вырабатываемой электроэнергии расходует на дробление и измельчение [1]. Известно, что рабочие органы дробильно-сортировочного оборудования: билы, щеки дробилок, конуса, бронеплиты при эксплуатации испытывают высокий ударно-абразивный износ (УАИ). При этом расход бил составляет 200 г/т размолотого топлива.

Билы для шахтных мельниц изготавливают из сталей марок 25Л1 и 35ГЛ. Срок эксплуатации бил в мельницах составляет не более 100-150 ч [2].

Потери от выхода из строя по причине изнашивания деталей машин, оборудования, транспортных средств ежегодно составляют в мире сотни миллиардов долларов [3]. Существенного снижения потерь можно достичь путем создания новых износостойких сплавов, принципов их легирования, совершенствованием технологии производства. Следовательно, повышение износостойкости является актуальной народнохозяйственной задачей.

В данной работе была предпринята попытка по изучению совместного влияния различных карбидообразующих элементов (хрома, марганца, титана, молибдена, бора, вольфрама, ниобия) на комплекс технологических свойств среднелегированных сталей: абразивную (АС), ударно-абразивную (УАС) стойкости и твердость при минимальной себестоимости.

Известно довольно много методик по испытанию сплавов на износ и ударную стойкость. Но они не обеспечивали условий, приближенных к реальной работе шахтных мельниц.

По нашему мнению, при оптимизации химического состава сплава для условий (УАИ) износа необходимо одновременное воздействие абразивного и ударно-абразивного износов.

Поэтому была разработана и изготовлена установка (см. рисунок) для изучения ударно-абразивной стойкости литых образцов [4]. С по-

мощью данной установки проводили исследования с целью оптимизации ударно-абразивной стойкости различных сплавов применительно к условиям эксплуатации литых бил.

В данной установке используется кинетическая энергия стального шара с массой 1,5 кг, падающего по направляющей трубе 6. Шар ударяет по обойме 3, в которой зажимается испытуемый образец квадратного сечения (с размерами 10×10 мм). Обойма устремляется вниз, образец ударяется и скользит по наклонной плоскости 2. В исходное положение обойма возвращается с помощью пружинного возвратно-поступательного механизма 4. Для большего абразивного износа на наклонную плоскость из специального бункера 12 непрерывно подается песок или какой-нибудь другой сыпучий материал. После удара стального шар скатывается по направляющей 5 и поднимается специальным ковшем 10 вертикального элеватора 8, который приводится в движение электродвигателем 9. Количество падающих шаров подсчитывается счетчиком импульсов 7. На данном редукторе получается 8 ударов в минуту. Угол встречи испытываемого образца с наклонной плоскостью можно регулировать специальным винтом 1. В данной установке за счет кинетической энергии падающего шара обеспечивается одновременно (УАИ) и абразивный износ стального опытного образца.

С помощью данной установки проводили исследования с целью оптимизации ударно-абразивной стойкости различных сплавов применительно к условиям эксплуатации литых бил.

Коэффициент относительной ударно-абразивной стойкости определяли из соотношения

$$K_{АС(УАС)} = \frac{\Delta m_{эт}}{\Delta m_{исп}},$$

где  $\Delta m_{эт}$  – убыль массы эталонного образца из литой (незакаленной) стали 35ГЛ, г;

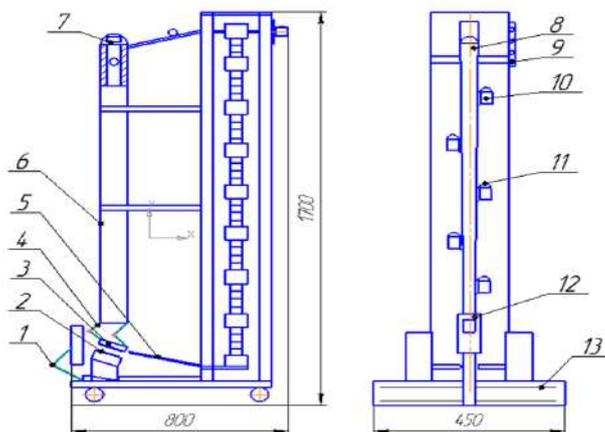
$\Delta m_{исп}$  – убыль массы образца испытуемой стали, г.

В работе было исследовано 100 различных сплавов, которые выплавляли в лабораторной плавильной печи. Литые образцы получали заливкой жидкого металла в химически термостойкие прокатанные керамические формы. После затвердевания и охлаждения пробу разрезали и получали три образца (с размерами 60×10×10 мм). Для получения более достоверных данных были произведены испытания образцов на чисто абразивный износ в лабораторной шаровой мельнице [5, с. 75-77].

Твердость определяли методом Роквелла в литом и закаленном состояниях. Изменение массы

образцов во время испытаний оценивали на аналитических электронных весах, с точностью до 0,001 г. После проведения всех испытаний незакаленных образцов их подвергали закалке с низким отпуском. Затем закаленные образцы испытывали аналогично литым. Были проведены четыре шестифакторных эксперимента на пяти уровнях [6, 7].

В таблице приведены химические составы 25 различных сталей и влияние элементов на абразивную (АС), ударно-абразивную (УАС) стойкости, твердость (HRC) и себестоимость (С), руб. литых и закаленных сталей для эксперимента 1.



Установка для определения ударно-абразивной стойкости:

- 1 – винт для изменения угла наклона; 2 – наклонная плоскость; 3 – обойма с образцом;  
4 – пружинный возвратно-поступательный механизм; 5 – направляющая; 6 – труба; 7 – счетчик импульсов;  
8 – вертикальный элеватор; 9 – электродвигатель; 10 – ковш элеватора; 11, 12 – бункер с абразивом; 13 – станина

Влияние химического состава на абразивную (АС), ударно-абразивную (УАС) стойкости, твердость (HRC) и себестоимость (С), руб. литых и закаленных сталей для эксперимента 1

X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	Y <sub>1</sub>		Y <sub>2</sub>		Y <sub>3</sub>		Y <sub>4</sub>		HRC		С, руб.
						АС лит	АС зак	УАС лит	УАС зак	лит	зак					
0.22	1	0	0	0	0.3	1	1	1.95	2.1	3.1	2.5	53.4	63.0	80		
0.22	3	1	1	0.5	0.7	0.8	0.7	1.46	1.3	3.27	3	9.1	8.2	80.1	71.5	231
0.22	2	0.5	0.5	0.25	0.5	1.16	0.9	2.03	1.7	3.13	2.4	7.1	6.7	79.1	70.0	156
0.22	5	2	2	1	1.2	0.17	0.2	0.93	0.9	0.64	.2	2.9	2.6	72.9	72.9	383
0.22	4	1.5	1.5	0.6	0.5	0.21	0.4	0.35	0.4	1.2	1.2	2.7	3	77.8	71.8	307
2.62	1	1	0.5	1	0.9	1.18	1.1	2.67	2.2	0.52	0.7	2.5	0.8	79.0	80.1	183
2.62	3	0.5	2	0.75	0.3	1.3	1.2	3.01	2.5	3.85	3.5	9.1	7.3	72.3	73.8	368
2.62	2	2	1.5	0	0.7	1.65	1.4	3.71	3.4	6.35	5.9	14	14.1	61.3	71.5	368
2.62	5	1.5	0	.05	0.5	1.48	1.4	3.09	2.6	5.32	5	13.5	12.6	67.8	73.5	150
2.62	4	0	1	0.25	1.2	0.85	1	1.34	1.5	5.09	4.5	11.9	9.3	64.7	66.1	241
1.42	1	0.5	1.5	0.5	1.2	1.14	1.2	1.98	1.7	0.45	0.5	11	3.6	81.9	76.9	284
1.42	3	1.5	0	0.25	0.9	1.3	1.3	2.55	2.3	1.59	1.8	-	-	66.7	74.1	136
1.42	2	2	1	1	0.3	0.89	0.7	2.37	2.3	1.33	1.4	2.9	3.6	74.8	67.6	247
1.42	5	0	0.5	0.75	0.7	0.57	0.7	0.9	0.9	0.9	1.9	2.1	3.7	72.2	72.8	175
1.42	4	1	2	0	0.3	1.3	1.5	3.75	3.5	3.5	3.7	7.2	7.9	71.5	71.9	369
5	1	2	1	0.75	0.5	0.77	0.9	2.89	2.2	2.2	2.7	5.1	3.9	61.8	56.3	221
5	3	1.5	0.5	0	0.5	0.44	0.91	3.14	3.1	3.1	3.7	9.5	10.2	61.0	65.5	375
5	2	0	2	0.5	1.2	0.8	0.95	1.34	1.1	1.1	2.8	7.1	7.7	80.6	81.9	345
5	5	1	1.5	0.25	0.9	0.29	1.1	2.5	2.2	2.2	2.6	5.1	4.7	69.7	71.5	151
5	4	0.5	0	1	0.3	0.88	0.7	1.75	1.8	1.8	0.4	1.9	1.6	77.8	72.1	384
3.82	1	1.5	2	0.25	0.7	1.65	1.7	1.99	2.2	2.2	3.8	10	10	75.1	73.4	310
3.82	3	0	1.5	1	0.7	0.46	0.6	1.07	1.3	1.3	1.6	2.1	2.9	54.4	63.0	80
3.82	2	1	0	0.75	0.5	1.12	1.3	1.86	1.9	-	-	9.3	10.8	80.1	71.5	231
3.82	5	0.5	1	0	1.2	1.33	1.2	2.17	2.2	2.2	1.6	3.1	3.5	79.1	70.	156
3.82	4	2	0.5	0.5	0.3	1.16	1.1	2.13	2.15	2.15	5.6	12.1	13	72.9	72.9	383

За базовую была взята сталь 35ГЛ. Основные легирующие элементы и их концентрации были выбраны на основании анализа литературных данных и предварительных промышленных испытаний.

Содержание в сталях углерода (0,6-1%) было выбрано с таким расчетом, чтобы его хватило для образования необходимого количества карбидов соответствующих элементов, но при этом обеспечивалась бы достаточная ударная вязкость и пластичность. Главными критериями при оптимизации химического состава износостойких сталей были свойства: максимальные – абразивная, ударно-абразивная стойкости, твердость при минимальной их себестоимости [8].

Обработка экспериментальных данных позволила установить математические и графические зависимости между химическим составом указанных сплавов и их механическими свойствами [9].

Задача решалась в несколько этапов, т.е. находили полиномиальную зависимость механических свойств от состава сплава  $z = f$  (химический состав), затем проверяли адекватность построенной модели и в случае получения адекватной функции оптимизировали химический состав, находя ее частные производные. Статистическую обработку производили в программе STATISTICA [10]. Статистический анализ включал:

- регрессионный анализ с целью получения эмпирических моделей зависимостей абразивной и ударно-абразивной стойкости от входных пара-

метров, и определения оптимальных составов литой и закаленной стали;

- расчет статистических характеристик регрессионных моделей и их коэффициентов;
- оптимизацию химического состава.

### Список литературы

1. Стырикович М.И. Пути и перспективы энергетики. // Наука и жизнь. – 1984. – № 3.
2. Ромадин В.П. Пылеприготовление. – М.: Госэнергоиздат. -1953.- 620 с.
3. Колокольцев В.М., Мулявин Н.М., Вдовин К.Н. Абразивная износостойкость литых металлов и сплавов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2004. – 228 с.
4. Братковский Е.В., Хабилов А.С. Установка для определения ударно-абразивной стойкости литых сталей // Тезисы докладов. Научно-техническая конференция завода-вуза. Темиртау, 1988. – 158 с.
5. Братковский Е.В., Харитонов Ф.Н. Повышение износостойкости литых сталей // сборник научных трудов МГТУ. Магнитогорск, 2005.
6. Гуляев Б.Б., Гладышев С.А. Оптимизация состава хладостойкости стали повышенной прочности методами математического планирования // Литейное производство. – 1985. – № 10.
7. Хрущев М.М. Лабораторные методы испытания на изнашивание материалов трубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1966. – 152 с.
8. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Износостойкость и структура твердых наплавов. – М.: Машиностроение, 1971. – 90 с.
9. Войнов Б. А. Износостойкие сплавы и покрытия. – М.: Машиностроение, 1980. – 196 с.
10. Венецкий И.Г., Кильдишев Г.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Статистика, 1975.

### Сведения об авторах

**Братковский Евгений Владимирович** – канд. техн. наук, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: ebratk@yandex.ru.

**Турушева Анастасия Игоревна** – студ. третьего курса, Новотроицкий филиал НИТУ «МИСиС», г. Новотроицк. E-mail: nastya\_t.15@mail.ru.

УДК 621.771

## ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА АРМАТУРНОГО ПРОКАТА ПО НОВОМУ ГОСТ 34028-2016

Сычков А.Б.<sup>1</sup>, Дегтярев А.В.<sup>2</sup>, Блохин М.В.<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск<sup>2</sup>ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Целью настоящей статьи является освоение производства проката по ГОСТ 34028 в условиях ПАО «ММК», повышение качества арматурного проката на основе совершенствования технологических режимов структурообразования при охлаждении. Актуальность темы состоит в достижении современного эффективного качества арматурного проката различного размера и марочного состава, отвечающего перспективным требованиям потребителей, предназначенного для строительных конструкций, железобетонных строительных элементов, в том числе применяемых в сейсмически опасных районах.

В статье рассмотрены технологические факторы, влияющие на прочностные, пластические и эксплуатационные свойства арматурного проката путем формирования его эффективной микроструктуры. Предложен химический состав стали и разработаны режимы термомеханического упрочнения арматуры с прокатного нагрева, обеспечивающие высокие потребительские свойства, свариваемость арматурного проката, высокую пластичность, устойчивость к разрушению при циклических нагрузках, жаростойкость и хладостойкость.

**Ключевые слова:** арматурный прокат, термомеханическое упрочнение, самоотпуск, микролегирование, термоциклирование

Основной объем потребления арматурного проката в России – это термомеханически упрочненная арматура класса прочности 500-1000 МПа (по пределу текучести) по СТО АСЧМ 7, ГОСТ Р 52544 и ГОСТ 10884, однако эти стандарты регламентируют свойства, соответствующие лишь категории «А» по EN 1992-1 Eurocode 2, т.е. не производится высокопластичный арматурный прокат и арматура, работающие в условиях циклических нагрузок (метро, сейсмоопасные районы и т.п. с отношением прочности к текучести не менее 1,25).

В декабре 2016 г. издан ГОСТ 34028-2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» – взамен ранее действовавших вышеуказанных нормативных документов. Данный стандарт предлагает не только разделение арматурного проката по классам пластичности, но и ужесточает требования к свариваемости, добавляет требование к коррозионной стойкости арматурного проката класса А500.

При этом в нормативном документе рекомендуется для обеспечения технологических свойств проката использование микролегирования Nb, V, Mo. Это направление развития достаточно широко освещено в современной литературе [1-4]. Однако легирование стали даже небольшим количеством карбидо- и нитридообразующих элементов значи-

тельно повышает себестоимость проката, а соответственно, и его цену для конечного потребителя – предприятий строительной отрасли.

Таким решением практически отсекается долговременный (не менее 50-ти лет, начиная с работ школы академика К.Ф. Стародубова) опыт производства термически упрочняемой арматуры. На наш взгляд, это абсолютно неприемлемо.

Управление структурой, а через нее – механическими и технологическими свойствами арматурного проката возможно также за счет выбора эффективного режима термомеханической обработки проката с использованием тепла прокатного нагрева и экономного легирования.

В условиях сортового цеха ПАО «ММК» структура и механические свойства термомеханически упрочненного проката формируются в процессе, называемом «прерванной закалкой» или «закалкой с самоотпуском» с использованием тепла прокатного нагрева. Указанная технология обеспечивается на линиях ускоренного водяного охлаждения проката, установленных на станах 170 и 370. Охлаждение осуществляется потоком воды под давлением, формирующимся в форсунке и воздействующим на прокат в охлаждающей трубе.

При разработке технологии производства проката следует также учитывать возможное изменение его свойств в процессе доставки до потребителя и хранения на складах. После окончания прокатки и

складирования готового проката на адьюстаже цеха в течение длительного времени продолжают происходить диффузионные и релаксационные процессы, в том числе выделение диффузионно подвижного водорода с исключением обратимого охрупчивания арматурного проката [1, 5].

Скорость и интенсивность выделения водорода различны в зависимости от степени термоупрочнения арматурного проката, поэтому связанное с ним изменение механических свойств неодинаково для разных марок стали и режимов термомеханической обработки. Вследствие высокой напряженности структуры металла диффузионная подвижность водорода в термически упрочненной стали в 2-3 раза ниже, чем в горячекатаной. Поэтому десорбция водорода из термически упрочненных стержней идет медленнее и может при комнатной температуре занимать от 10 суток до нескольких месяцев [1, 5, 6].

Выделение водорода приводит также к явлению водородного старения. В крупнозернистых горячекатаных сталях это обуславливает разупрочнение, в слоистых – квазикомпозитных структурах упрочненного проката разупрочнение выражено менее существенно [1, 5, 6].

Данное явление достаточно хорошо изучено для арматурного проката по СТО АСЧМ 7-93 и ГОСТ 5781. Однако прокат по ГОСТ Р 52544 и ГОСТ 34028, вследствие нормирования углеродного эквивалента не только сверху, но и снизу, имеет промежуточный химический состав между классической горячекатаной и термоупрочненной арматурой, а значит, и повышенную искаженность кристаллической решетки, делающую прокат особенно чувствительным к водородному охрупчиванию [1, 5-7].

При производстве проката по стандартной технологии, применяемой на ПАО «ММК», наблюдалось значительное его разупрочнение с течением времени (рис. 1). При этом на образцах проката происходит активное выделение диффузионно-свободного водорода в течение длительного периода (рис. 2) в виде пузырьков этого газа.

При термоупрочнении арматурного проката весьма сложно обеспечить отношение временного сопротивления разрыву к пределу текучести не менее 1,25 для армирования железобетонных конструкций в сейсмо- и виброопасных объектах.

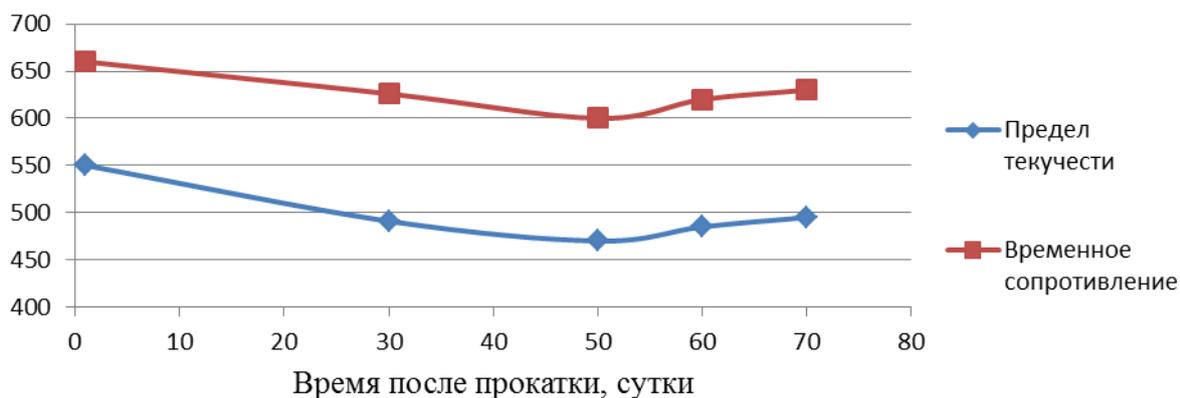


Рис. 1. Изменение свойств проката класса А500С во времени



Рис. 2. Вид образцов проката, погруженных в емкость с глицерином

Для управления пластическими свойствами проката и предотвращения водородного охрупчивания необходимо направленное регулирование процессом самоотпуска мартенсита в слое, прилегающем к поверхности арматурного стержня. С этой целью вместо непрерывного интенсивного охлаждения для упрочнения применено прерывистое (режим термоциклирования), заключающееся в чередовании двух воздействий на металл: интенсивное охлаждение водой и осуществление самоотпуска закаленного поверхностного слоя проката на участках выравнивания температуры. Общая сумма продолжительности всех периодов охлаждения остается равной времени непрерывного интенсивного охлаждения, обеспечивающего тот же уровень прочностных свойств. Важной особенностью является то, что после выравнивающих температуру пауз значительно изменяется кинетика превращения аустенита, что положительно отражается на эксплуатационных свойствах арматурного проката. Время циклов охлаждения металла примерно приравнивается времени выравнивания температуры по сечению проката. Режим термоциклирования арматуры обеспечивает получение в поперечном сечении слоистой микроструктуры (от 2 до 4 слоев), структуры так называемого квазикомпозита. Такая структура формирует эффективный комплекс механических свойств – сочетание прочности, пластичности, сейсмостойкости, свариваемости и других характеристик. При этом себестоимость указанной технологии минимальна.

При производстве арматурного проката класса А500С получаемая микроструктура проката представляет из себя упрочненный поверхностный слой, состоящий из мартенсита отпуска, мелкозернистую феррито-перлитную структуру в центре прутка и тонкий переходный бейнитный слой, который может присутствовать или отсутствовать в зависимости от диаметра проката (рис. 3).

Квазикомпозитная структура, при управлении структурообразованием каждой из ее составляющих, обеспечивает уникальное сочетание свойств проката – высокую прочность, высокую пластичность, свариваемость и незначительное изменение свойств проката с течением времени.

Для высокопрочной арматуры класса А800 наилучшие показатели механических свойств и пластичности при выполнении требования к условному пределу упругости достигаются при получении в центральной зоне троостомартенсита и достаточной глубины слоя мартенсита отпуска с поверхности (рис. 4).

Важным фактором здесь являются величина иглы мартенсита и количество остаточного аустенита. В связи с этим важно выдерживать температурно-скоростные параметры охлаждения, включающие снижение температуры конца прокатки ниже 990°C, увеличенное в 1,5 раза время нахождения в трассе термоупрочнения и наличие в ней участков выравнивания температуры по сечению (термоциклирование).

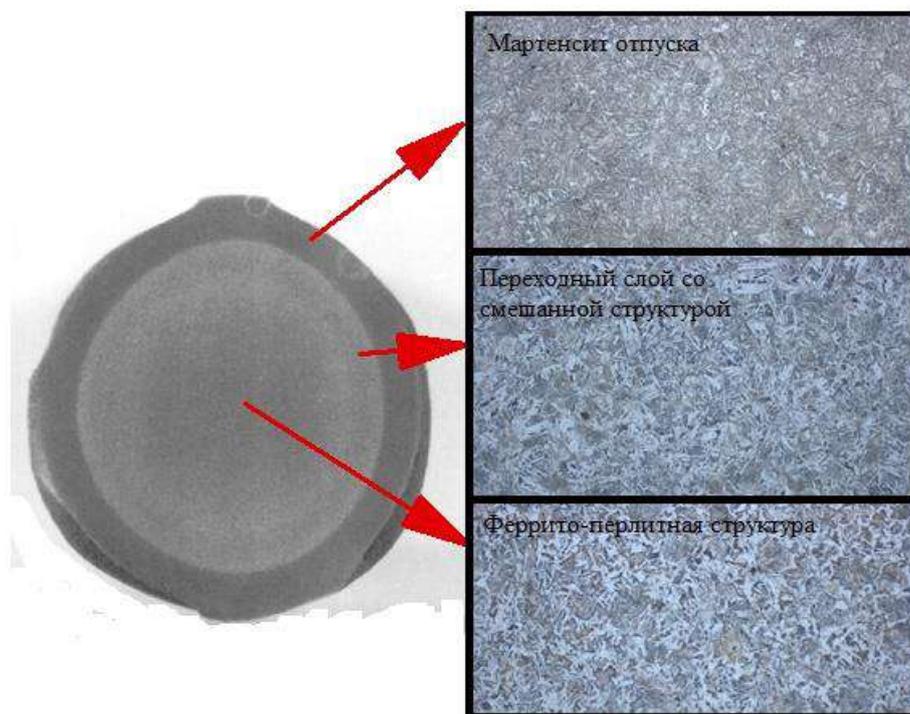


Рис. 3. Квазикомпозитная структура термоупрочненного проката класса А500С

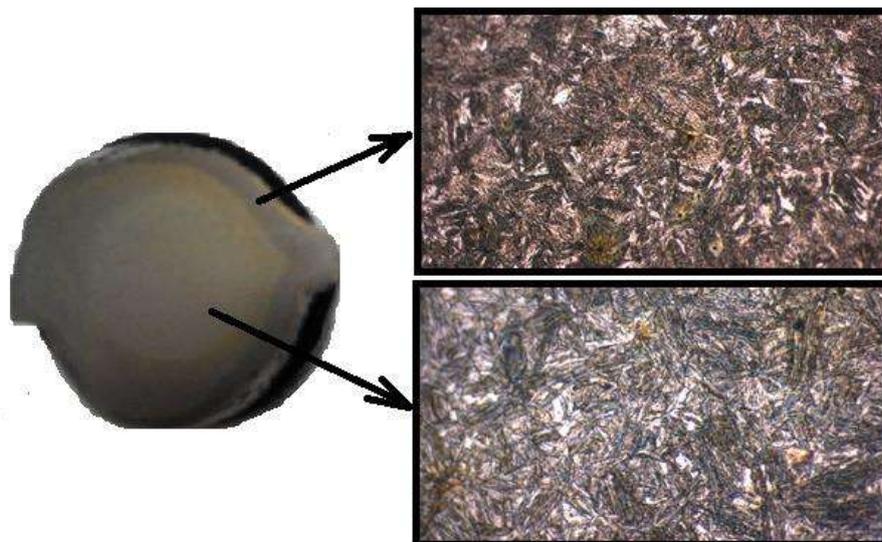


Рис. 4. Структура проката класса А800

В случае производства горячекатаной арматуры большее влияние оказывает выбор химического состава стали, при этом допускаемые уровни содержания химических элементов в новом нормативном документе сужены относительно отменяемого ГОСТ 5781, что сделало невозможным использование стали марок 25Г2С и 35ГС. Последнее (отказ от марок 25Г2С и 35ГС) скорее является положительным фактором, позволяющим применять более эффективные химические составы для арматурного проката.

Использование карбидо- и нитридообразующих элементов (ниобий, ванадий, титан, бор и т.д.) в данном случае дает большие возможности по обеспечению эксплуатационных свойств арматурного проката. Использование микролегирования стали ванадием активно исследовалось специалистами ПАО «Северсталь», ОАО «Евраз-ЗСМК» и НИЦ «Строительство». Образование мелкодисперсных нитридов ванадия и обеспечивает упрочнение металла по механизму дисперсионного твердения и частично зернограницных барьеров, что сдерживает рост зерна и позволяет достигать требуемого уровня прочностных свойств с сохранением высоких пластических свойств и ударной вязкости, в т.ч. при отрицательных температурах. При этом возможно обеспечить меньший уровень содержания основных легирующих элементов (С, Si, Mn). Это позволяет избежать холодного растрескивания при точечной сварке, а также значительно снижает вероятность разупрочнения сварного соединения при сварке с большими тепловложениями. Аналогичное действие обеспечивает и ниобий, образующий дисперсные карбиды [8-11].

В рамках исследований разработана технология производства арматурного проката класса А400СН, замещающего горячекатаный арматур-

ный прокат по ГОСТ 5781. Применено микролегирование стали ванадием.

Прокат показывает значительную жаростойкость, разупрочнение проката начинается только при нагреве до температуры 750°С и при этом не превышает 10 %, что оговаривается нормативной документацией – ГОСТ 6996 (рис. 5).

Благодаря микролегированию даже при температурах конца прокатки 1030-1080°С и охлаждении на спокойном воздухе на холодильнике стана 370 формируется мелкозернистая феррито-перлитная структура проката, состоящая из зерен феррита 9-11 балла по шкалам ГОСТ 5639-82 и перлита дисперсностью 1-3 балла по шкале ГОСТ 8233-56 (рис. 6).

Благодаря равномерной мелкозернистой структуре проката и уменьшению искаженности его кристаллической решетки, практически не наблюдается изменчивость свойств во времени, присущая горячекатаной стали по ГОСТ 5781. При этом микролегированный прокат показывает достаточную хладостойкость – ударная вязкость при температуре -70°С при испытании на образцах с U-образным и -40°С с V-образным надрезом составляет более 70 Дж/см<sup>2</sup>.

На настоящий момент исследовано влияние режимов термомеханической обработки на станах 170 и 370 ПАО «ММК» на получаемую микроструктуру и механические свойства арматурного проката. Разработаны и введены в производство ПАО «ММК» марки стали и температурные режимы, при которых обеспечивается гарантированная свариваемость, определены интервалы температур самоотпуска и скоростей охлаждения, снижающие эффект водородного охрупчивания. Освоено производство арматурного проката классов: А400, А500, А400С, А500С, А400СН, А500СН, А500СЕ, А600, А800.

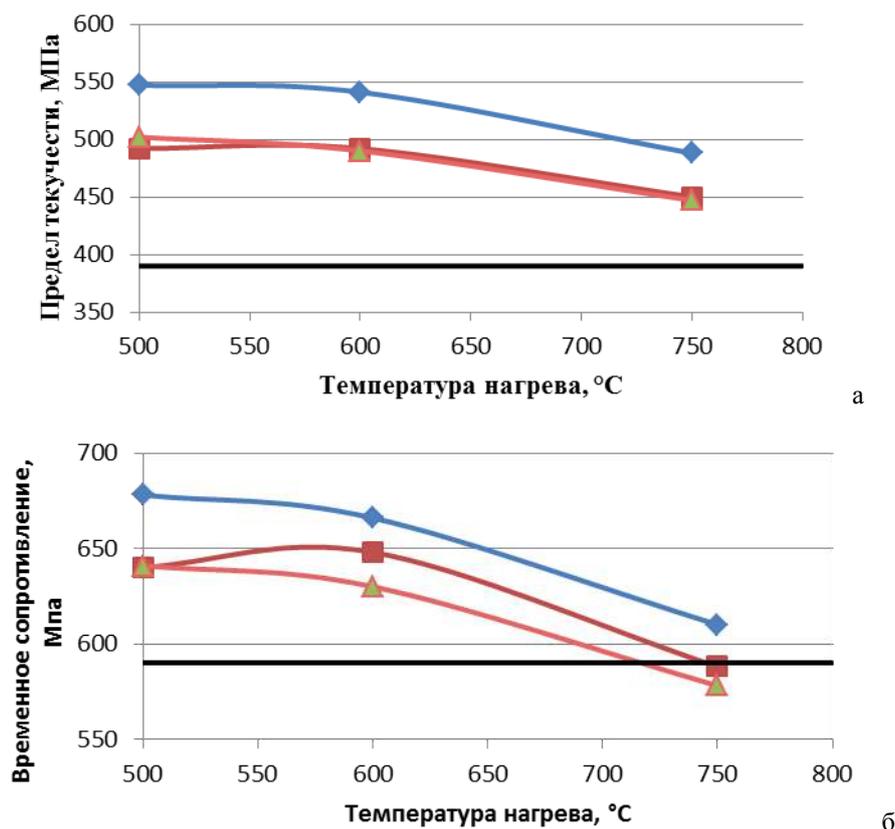


Рис. 5. Изменение механических свойств проката класса А400СН при нагреве: а – предел текучести, б – временное сопротивление разрыву



Рис. 6. Микроструктура горячекатаной арматуры класса А400СН

По нашему мнению, при производстве арматурного проката необходим выборочный подход к выбору химического состава стали и технологии его производства – горячекатаное или термически упрочненное состояние. При дальнейших исследованиях можно разработать эффективные режимы термического упрочнения арматуры, обеспечивающие требуемые рынком структуру и комплекс механических и потребительских свойств проката, аналогичные структуре и свойствам, получаемым в арматурном прокате из микролегированной стали. При этом термоупрочнение проката

значительно выгоднее по стоимости технологического процесса.

#### Список литературы

1. Технология термической обработки арматурного и фасонного проката: монография / А.Б. Сычков, Э.В. Парусов, А.Б. Моллер, М.В. Блохин и др. Palamarium Academic Publishing, 2017. – 273 с.
2. Влияние ванадия на механические и потребительские свойства свариваемой арматурной стали классов прочности А500С и А600С/ Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Борцов и др.// Металлург. – 2015. – № 10. – С. 65-69.

3. Универсальная арматурная сталь класса Ан600С марки 20Г2СФБА/ Г.С. Водовозова, Н.В. Копытгова, С.А. Мадатян, Д.Е. Климов // Черная металлургия: бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2016. – №5. – С. 51-56.
4. Структура и механические свойства проката из двух- и мультифазной марганцево-кремнистой стали с ванадием / В.Л. Плюта, А.Б. Сычков, А.М. Нестеренко, М.В. Блохин // Scientific pages. 2017. – №2. – С. 31-39.
5. Сычков А.Б., Блохин М.В. Формирование структуры и механических свойств арматурного проката // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования. – 2017. – С. 99–102.
6. Цыба О.О., Коваленко В.В. Арматура ЗСМК – вызов принят // Металлург. – 2014. – №6. – С.136–138.
7. Критерии оценки свариваемости арматурных сталей / Д.В. Домов, И.И. Франтов, А.Н. Борцов, О.О. Цыба // Черная металлургия: бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2016. – №5. – С. 51-56.
8. Lorusso H., Burgueño A., Egidia D. and Svoboda H. Application of dual phase steels in wires for reinforcement of concrete structures // Procedia Materials Science. – 2012. – №1. – P. 118 – 125.
9. Lis J., Lis A.K. and Kolan C. Dual-phase technology and properties of C-Mn steels // Inzynieria Materialowa. – 2004. – № 3 (140). – P. 163-165.
10. Xu X. J., Kong J. Q. Study on Cooling Process of Hot Rolled Wire Rod with Dual Phase Microstructure // Advanced Materials Research. – 2012. – Vols. 415-417. – P. 779-783.
11. Харитонов В.А., Петров И.М. Оценка и направления повышения конкурентоспособности бунтовой арматурной стали // Актуальные проблемы современной науки, техники, образования. – 2017. – С. 99–102.

#### Сведения об авторах

**Сычков Александр Борисович** – д-р техн. наук, доц., проф. каф. ТМиПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: absychkov@mail.ru.

**Дегтярев Александр Викторович** – зав. лаб. сортового производства, лаборатория сортового производства ЦЛК, ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», г. Магнитогорск. E-mail: Degtyarev.av@mmk.ru.

**Блохин Михаил Владимирович** – аспирант каф. ЛПиМ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск. E-mail: Blokhn.mv@mmk.ru.

УДК 621.771

## ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА РАБОЧИХ ВАЛКОВ ДЛЯ ЧИСТОВЫХ КЛЕТЕЙ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Гулаков А.А.<sup>1</sup>, Тухватулин И.Х.<sup>1</sup>, Колокольцев В.М.<sup>2</sup>, Потапов М.Г.<sup>2</sup><sup>1</sup>ЗАО «КЗПВ», г. Кушва<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Рассмотрены современные тенденции в технологии изготовления, оборудовании и материалах центробежнолитых листопркатных валков на Кушвинском заводе прокатных валков (ЗАО «КЗПВ»). С целью увеличения объемов производства и освоения новых видов продукции на предприятии осуществляется реконструкция. К настоящему времени модернизация вальцелитейного цеха практически завершена. В работе приводится описание нового оборудования, введенного в эксплуатацию в период с 2005 по 2017 гг.

Одновременно с работами по модернизации вальцелитейного цеха разработаны и внедрены в производство технологии литья листопркатных валков исполнений ICDP-GG и HSS-GS для чистовых клетей станов горячей прокатки. В работе приводятся данные по объемам производства перечисленных выше валков их производительности, представлены микроструктуры и характеристики их рабочих слоев.

**Ключевые слова:** листопркатные валки, клеть, структура, износостойкость, производительность.

На предприятиях, производящих прокатную продукцию, актуальной является задача по повышению эффективности производства и снижению себестоимости. Одно из направлений решения этой задачи — увеличение производительности прокатных валков за счет развития технологии, усовершенствования сплавов, применяемых в качестве рабочего слоя прокатных валков, и разработки новых сплавов и технологий.

Решение задачи включает следующие этапы:

- 1) взаимодействие с заказчиками прокатных валков, изучение условий эксплуатации валков в стане;
- 2) сбор информации об эксплуатации прокатных валков в станах;
- 3) систематизация и анализ промышленных данных;
- 4) разработка технологической инструкции плавки и заливки опытного валка;
- 5) заливка опытного валка, проведение термической обработки и исследований;
- 6) изготовление опытной партии валков;
- 7) анализ результатов эксплуатации опытных валков;
- 8) корректировка технологии производства валков (при необходимости).

Для реализации освоения новых материалов листопркатных валков необходима техническая база. Новые материалы получили интенсивное развитие с

началом реконструкции на Кушвинском заводе прокатных валков в 2005 г. (рис. 1) [1].

Специалисты КЗПВ имеют огромный опыт в сфере разработки технологий. Это хорошо прослеживается по широкой номенклатуре поставляемых валков для чистовых клетей станов горячей прокатки.

Прокатные валки изготавливаются индивидуально, по чертежам и требованиям конкретного заказчика. В настоящее время более 40 предприятий являются заказчиками индифинитных прокатных валков исполнений ICDP, ICDP-CE, ICDP-GG производства КЗПВ:

- ПАО «НЛМК»,
- ПАО «Северсталь»,
- «AM Nippon Steel Calvert» (США),
- «NLMK La Louviere» (Бельгия),
- «AM Dofasco» (Канада),
- «Bokaro SP» (Индия),
- «EZZ Dekheila Steel Alexandria» (Египет),
- «EZZ Steel», Suez (Египет),
- «Dunaferr» (Венгрия),
- «Bhilai SP» (Индия),
- «JSL Hisar» (Индия),
- «JSL Odisha» (Индия),
- «Essar Algoma» (Канада),
- «Stelco» (Канада),
- «Erdemir» (Турция),
- «Mittal Steel Ostrava» (Чехия) и др.

С момента начала реконструкции произведен монтаж и пуск в эксплуатацию современного оборудования:

– плавильных индукционных печей средней частоты серии IFM с емкостью тиглей 30, 20, 12 т производства компании АВВ (Германия);

– термических печей периодического действия производства компании BOSIO (Словения);

– проведена реконструкция смесеприготовительного отделения с монтажом и пуском в эксплуатацию нового оборудования.

В феврале 2012 г. для производства особо-крупных валков на КЗПВ была введена в эксплуатацию новая центробежная машина для отливки валков диаметром до 1650 мм и длиной бочки до 5600 мм.

В 2017 г. был пущен в эксплуатацию плавильный комплекс, состоящий из двух индукционных печей емкостью 2×16 т производства компании «OTTO JUNKER» (Германия).

Хронология освоения производства валков для чистовых клетей станов горячей прокатки:

– в 2005 г. освоено производство валков ICDP;

– в 2006 г. освоено производство валков ICDP-CE (индефинитных валков со специальными карбидами фазы MC);

– в 2015 г. освоено производство валков исполнения ICDP-GG;

– в 2017 г. освоено производство валков HSS-GS.

Традиционно в первых чистовых клетях станов горячей прокатки применяют валки ICDP. Стойкость этих валков ограничена определенными значениями наработок.

Усовершенствование рабочего слоя данных валков проводится путем легирования Nb и V (валки ICDP-CE). Данные элементы формируют твердые и износостойкие специальные карбиды фазы MC (рис. 2). Это позволяет увеличить стойкость на 20 % по сравнению с валками ICDP (табл. 1).

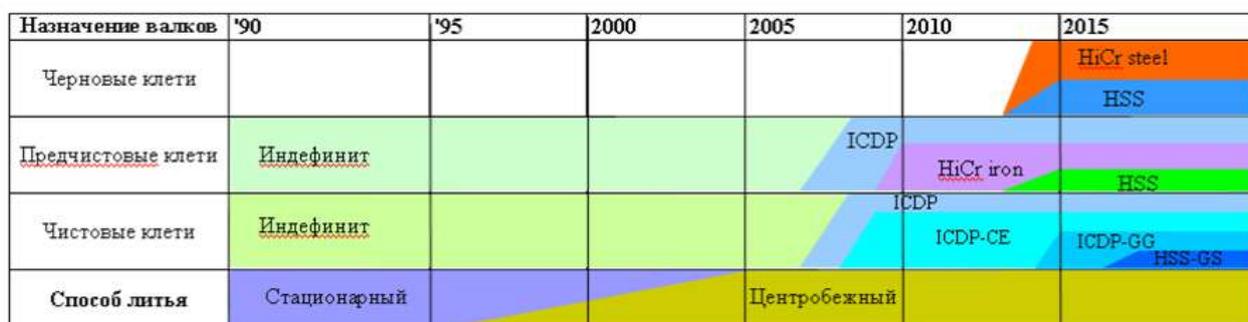


Рис. 1. Хронология развития материалов рабочего слоя листопркатных валков на КЗПВ

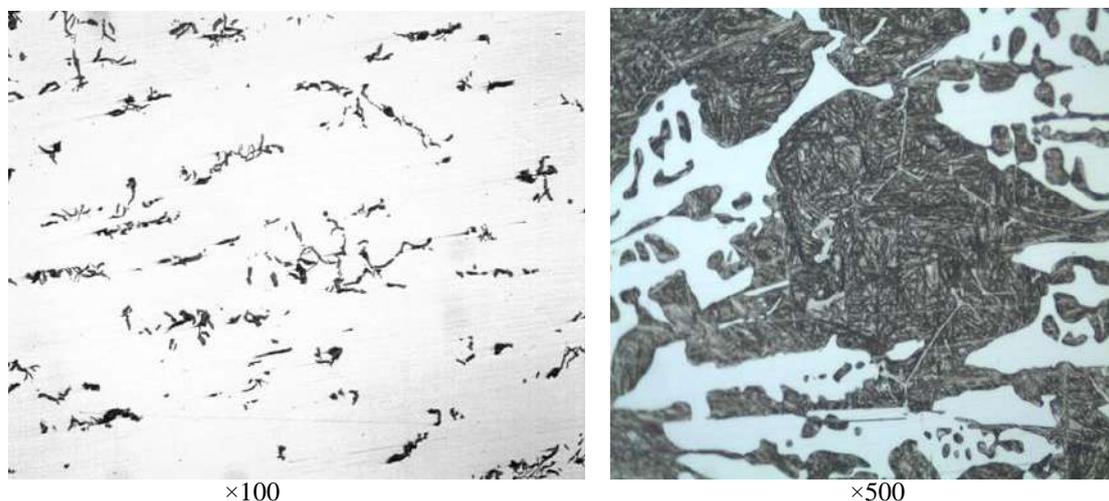


Рис. 2. Микроструктура рабочего слоя валков ICDP-CE

Таблица 1

Микроструктура и средняя наработка валков ICDP, ICDP-CE

Исполнение	Матрица	Типы карбидов	Твердость карбидов HV	Графит в рабочем слое	Средняя наработка
ICDP	Мартенсит + бейнит	Fe <sub>3</sub> C	800–1100	Пластинчатый	3000 т/мм
ICDP-CE	Мартенсит + бейнит	Fe <sub>3</sub> C MC	800–1100 2600–3000	Пластинчатый	3600 т/мм

Особые условия эксплуатации рабочих валков в клетях чистовой группы определяют специальные требования:

- малый коэффициент трения между валком и полосой, позволяющий уменьшить усилия прокатки;
- отсутствие склонности к налипанию;
- высокое сопротивление к образованию усталостных трещин и отслаиваний.

В процессе эксплуатации в стане рабочий слой валков ICDP подвергается абразивному изнашиванию при высоких динамических нагрузках, а также термоциклированию, которое сопровождается многократным нагревом до температуры 350 °С и охлаждением до 20 °С. В результате нагрева происходит превращение остаточного аустенита рабочего слоя валка в мартенсит отпуска, что сопровождается увеличением локального объема с последующим образованием микротрещин в поверхностном слое.

Учитывая всё вышеизложенное, на КЗПВ были проведены работы по разработке нового исполнения валков для чистовых клетей станов горячей прокатки.

Производство и эксплуатация валков ICDP-CE, легированных Nb и V, продемонстрировало увеличение стойкости на 20 % за счет образова-

ния твердых и износостойких специальных карбидов MC.

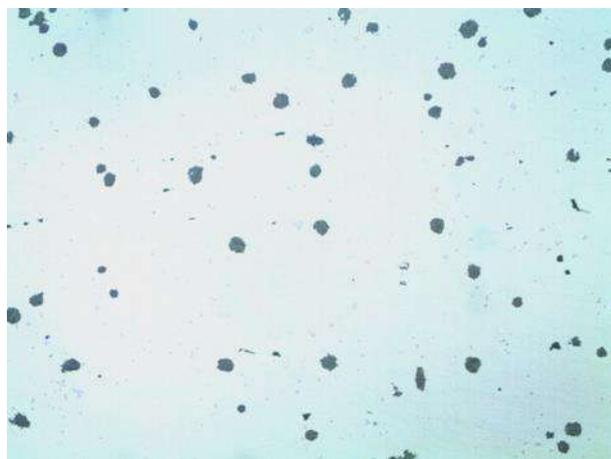
С целью дальнейшего увеличения производительности indefinitных валков специалистами КЗПВ проведены исследования влияния химического состава на свойства indefinitного чугуна и производительность indefinitных валков [2, 3]. В результате всех проведенных мероприятий был разработан химический состав рабочего слоя валков ICDP-GG и технология получения indefinitного чугуна с глобулярным графитом.

Прокатные валки ICDP-GG отличаются от валков ICDP-CE глобулярной формой графита в структуре рабочего слоя и большим количеством специальных карбидов MC с высокой твердостью (рис. 3).

Глобулярная форма графита повышает устойчивость к образованию сетки разгара, увеличивая прочность и ударную вязкость материала рабочего слоя (табл. 2), вследствие чего снижается вероятность образования микротрещин, приводящих к выкрошке и отслоениям. Увеличение количества карбидов MC повышает износостойкость.

Опытно-промышленные испытания рабочих валков ICDP-GG были проведены на двух крупнейших станах горячей прокатки:

- ПАО «Северсталь» – стан 2000, г. Череповец;
- ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» – стан 2000, г. Липецк.



×100



×500

Рис. 3. Микроструктура рабочего слоя валков ICDP-GG

Таблица 2

Механические свойства рабочего слоя валков ICDP, ICDP-CE, ICDP-GG

Исполнение	$\sigma_{и}$ , МПа	$\sigma_{в}$ , МПа	КС, Дж/см
ICDP	600-700	330-380	2,0-2,3
ICDP-CE	650-750	360-420	2,3-2,5
ICDP-GG	700-800	420-450	2,8-3,2

Результаты проведенных испытаний показали увеличение производительности валков чистовой группы исполнения ICDP-GG на 10-15 % по сравнению с валками ICDP-CE (рис. 4). Валки исполнения ICDP-GG были внесены в перечень валков, рекомендуемых к применению в чистовых клетях станов горячей прокатки ПАО «НЛМК» и ПАО «Северсталь», и в настоящее время поставляются на российские и зарубежные предприятия.

В связи с тенденцией к увеличению продолжительности кампаний на листопрокатных станах, возникла потребность в альтернативных валках чистовых клетей, обладающих более высокой стойкостью по сравнению с индефинитными. В решении этого вопроса особенность состоит в том, что материал рабочего слоя должен быть устойчив к налипанию металла, а высокохромистый чугун, высокохромистая сталь и быстрорежущая сталь таким свойством не обладают вследствие отсутствия графита в структуре. Специалистами КЗПВ был разработан быстрорежущий графитизированный сплав, способный работать в чистовых клетях.

Материал HSS-GS — быстрорежущий сплав, легированный хромом, никелем, молибденом, ванадием.

Микроструктура рабочего слоя валков HSS-GS состоит из мартенсито-бейнитной матрицы, специальных карбидов и графита (рис. 5). Сочетание специальных карбидов и свободного графита обеспечивает высокую износостойкость и исключает налипание металла [4]. Применение валков HSS-GS в чистовых клетях стана позволит увеличить продолжительность кампании и обеспечивает высокое качество поверхности листового проката.

В сравнении с индефинитными валками ICDP прогнозируемая производительность валков HSS-GS выше на 90 % (рис. 6). Итоговые результаты по фактической производительности станут известны после отработки пробных партий валков на предприятиях-заказчиках.

Для прокатных станов горячей прокатки листа специалистами КЗПВ предлагается комплектация клетей валками из прогрессивных материалов (рис. 7).

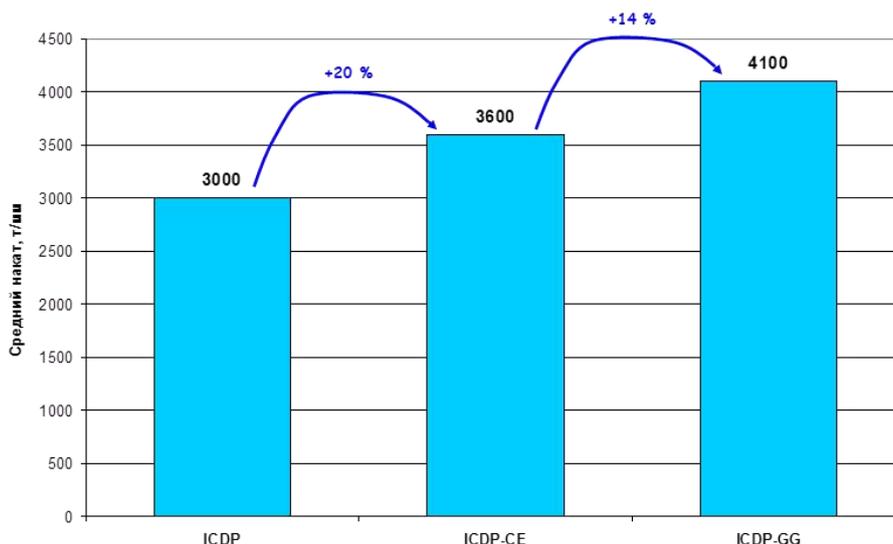


Рис. 4. Сравнительная стойкость валков чистовых клетей станов горячей прокатки

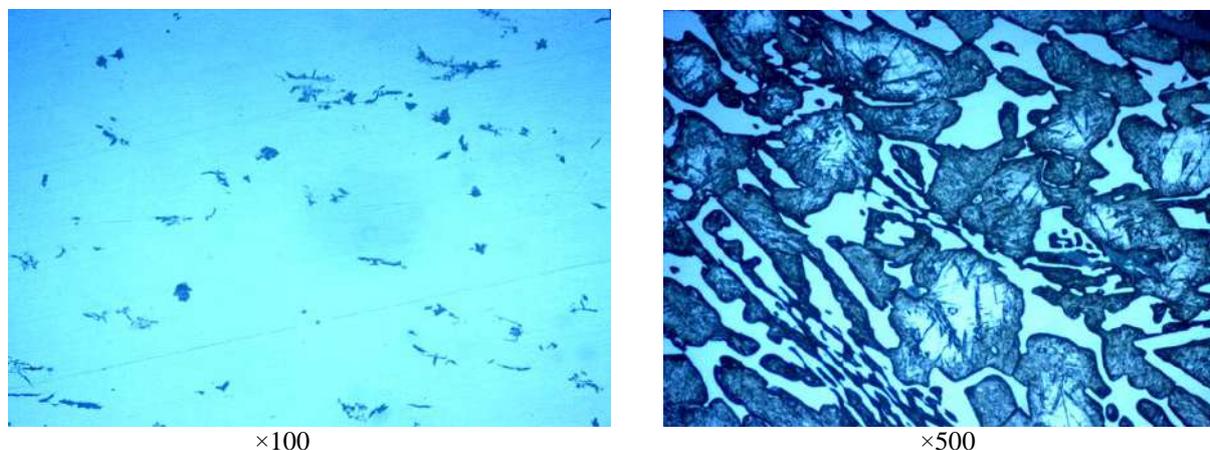


Рис. 5. Микроструктура рабочего слоя HSS-GS

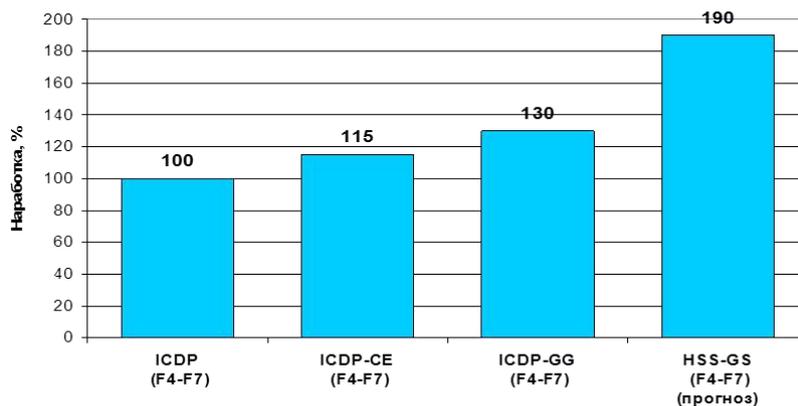


Рис. 6. Сравнительная производительность валков различных исполнений в клетях F4-F7 стана горячей прокатки листа

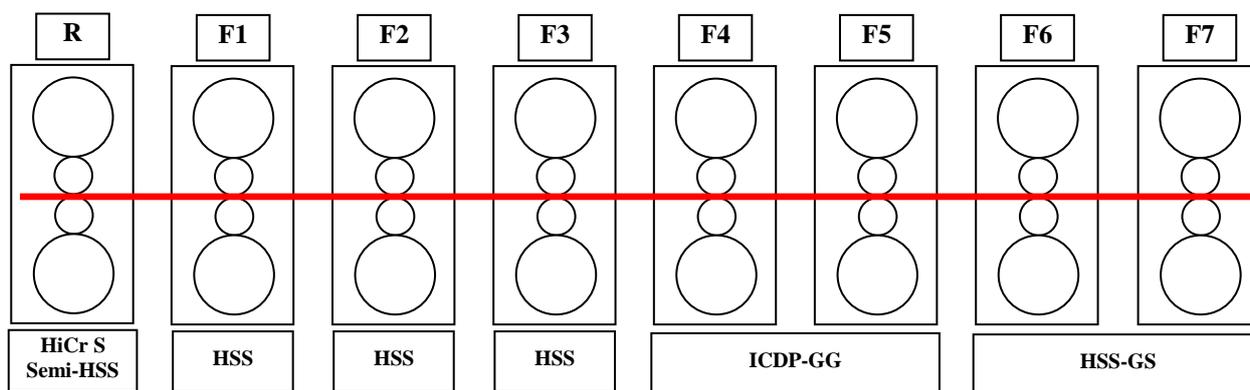


Рис. 7. Предлагаемая комплектация клеток станов горячей прокатки листа

Разработка технологии рабочих валков для чистовых клетей станов горячей прокатки – это сложный, наукоёмкий и многоступенчатый процесс. Разработанные технологии производства листопркатных валков позволяют существенно расширить номенклатуру производства, а их высокое качество значительно увеличивает количество предприятий-заказчиков.

#### Список литературы

1. Гималетдинов Р.Х., Гулаков А.А., Тухватулин И.Х. Производство износостойких рабочих валков для чистовых клетей станов горячей прокатки // Литейное производство сегодня и завтра: труды 12-й международной научно-практической конференции / под ред. Косникова Г.А. – СПб.: Изд-во
2. Гималетдинов Р.Х., Гулаков А.А., Тухватулин И.Х. Влияние химического состава на свойства рабочего слоя центробежнолитых индифинитных прокатных валков // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2016. – Т. 14. – № 3. – С. 78-89.
3. Gimaletdinov R.Kh., Gulakov A.A., Tukhvatulina I.Kh. Effect of chemical composition on the performance of centrifugally cast indefinite chilled cast iron rolls / Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17. – № 1. – С. 32-36.
4. Гулаков А.А., Тухватулин И. Х., Потапов М. Г. Опыт производства центробежнолитых листопркатных валков для станов горячей прокатки в условиях ЗАО «Кушвинский завод прокатных валков» // Черная металлургия. – 2018. – №5 (1421). – С. 75-82.

#### Сведения об авторах

**Гулаков Андрей Анатольевич** – главный металлург ЗАО «КЗПВ», г. Кушва. E-mail: gulakov@kzpv.ru

**Тухватулин Ильдар Халитович** – канд. техн. наук, зам. главного металлурга ЗАО «КЗПВ», г. Кушва. E-mail: ildar@kzpv.ru.

**Колокольцев Валерий Михайлович** – д-р техн. наук, профессор, президент ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kwm@magtu.ru.

**Потапов Михаил Геннадьевич** – канд. техн. наук, доцент каф. ЛП и М, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Potapovmg@mail.ru.

УДК 621.78

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ В МЕТАЛЛУРГИИ

Ангольд К.В.

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

**Аннотация.** В работе рассмотрено изменение термических напряжений, которым подвергается цилиндрическое тело в процессе изменения его температурного поля. Установлена зависимость перепада температур по радиусу цилиндра и возникновения продольных деформаций в теле. На основании решения осесимметричной задачи температурного изменения в поле цилиндрического объекта определена величина деформации. Построена математическая модель расчета величины деформации при изменении температуры стального цилиндрического стержня в условиях упругого деформирования. С использованием ранее известных аналитических зависимостей был получен математический аппарат, который позволяет производить расчет распределения нормальных, касательных и эквивалентных напряжений по радиусу цилиндра. Данная методика была применена для определения величины напряжений в поле стальных цилиндров с радиусами 0,1 и 0,05 м при росте температур от 20 до 400 °С. Определена температурная зависимость главных напряжений по радиусу исследуемого объекта. Из графика видно, что в момент установления одинаковой температуры по радиусу цилиндра наибольшие напряжения возникают в центре и на поверхности цилиндрического объекта.

**Ключевые слова:** тепловое поле, цилиндрический объект, термонапряженное состояние, главные напряжения, температурные деформации, условие прочности.

В настоящее время в металлургии без изменения температуры в деталях и рабочих узлах агрегатов не обходится большинство технологических процессов [1]. При этом в поле объекта, подвергаемого изменению температурного поля, возникают термические напряжения, которые могут привести к выходу из строя машин в металлургической промышленности [2, 3]. Эта проблема решается созданием математического аппарата, который способен с большой точностью рассчитать термические напряжения, возникающие в производственных объектах. Данный аппарат может использоваться для оценки и прогнозирования термонапряженного состояния в объектах металлургического производства. Поэтому математическое описание процесса термонапряженного состояния является весьма актуальной задачей.

Для описания оценки термонапряженного состояния был рассмотрен цилиндрический объект. Рис. 1 отражает напряжения, возникающие в поле цилиндра при его нагреве в условиях упругих деформаций. При перепаде температур по телу цилиндра при его нагреве возникают радиальные  $\sigma_r$ , окружные  $\sigma_o$ , продольные  $\sigma_{терм}$  и касательные  $\tau_{терм}$  напряжения.

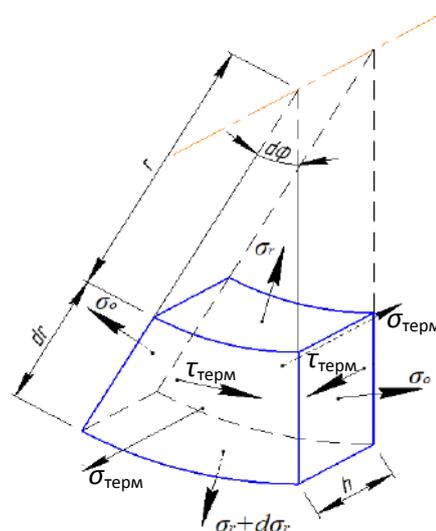


Рис. 1. Схема напряженного состояния при нагреве цилиндра

Для оценки напряженного состояния исследуемый объект разобьем на ряд слоев от 1 до К (рис. 2). Рассмотрим две области, оказывающие сжимающее и растягивающее действие на исследуемый слой [4]. Количественная оценка напряженного состояния была получена путем поочередного расчета деформаций для каждой границы [5-7]. Таким образом, определим возникновение растягивающих и сжимающих деформаций в поле объекта.

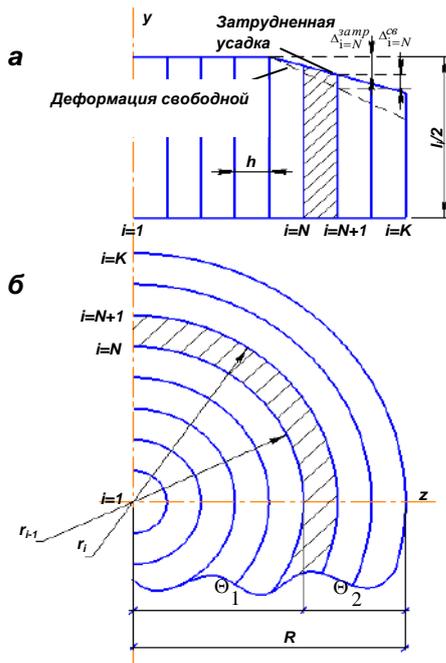


Рис. 2. Схема к расчету температурных деформаций

С использованием математического аппарата [8] был произведен расчет температурных деформаций цилиндра из стали марки Ст3. Время расчета 200 с, радиус цилиндра 0,1 м, система разбивалась на 50 слоев толщиной  $\delta = 0,001$  м, шаг по времени 0,1 с, теплопроводность  $\lambda = 50$  Вт/°С, теплоемкость  $c = 502$  Дж/кг·°С, плотность исследуемого объекта  $\rho = 7820$  кг/м<sup>3</sup>, модуль продольной упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа, коэффициент температурного расширения  $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6}$  °С<sup>-1</sup>, коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ . Начальная температура цилиндра  $T_0 = 20$  °С, температура окружающей среды  $T_{cp} = 400$  °С.

Для определения температурных деформаций с использованием численного метода решения за-

дач теплопроводности проведен расчет изменения теплового поля во времени [9, 10]. Результат расчета нагрева цилиндра представлен на рис. 3, а. Результаты расчета деформаций показаны на рис. 3, б. Видно, что наибольшую растягивающую деформацию испытывает центр нагреваемого тела, в то время как на поверхности происходит сжатие периферийных слоев цилиндра. Поверхностные слои цилиндра, подвергаясь нагреву, не могут свободно деформироваться в связи с влиянием соседних, более холодных слоев, вследствие чего происходит сжатие поверхностного слоя, в то время как центр объекта имеет наименьшую температуру, а следовательно, более нагретые слои растягивают его (см. рис. 3, б).

По полученным формулам проведен расчет изменения нормальных и касательных напряжений в динамике, где видно, что наибольший рост напряжений для рассматриваемого объекта идет до 160-180 с. В дальнейшем происходит уменьшение скорости роста напряжений, связанное с выравниванием температурного поля по радиусу цилиндра (рис. 4, а). Аналогичная картина возникает и при определении касательных напряжений (рис. 4, б) [11].

Анализ распределения нормальных напряжений по радиусу цилиндра (рис. 5) говорит о смене напряженного состояния с напряжений сжатия на поверхности объекта к напряжениям растяжения, максимумы которых возникают в центре исследуемого объекта. Действительно, поверхность объекта под воздействием температур греющей среды подвергается сжимающим деформациям, вследствие соприкосновения с более холодными слоями, располагающимися внутри исследуемого объекта [12]. Между тем, как показывает рис. 3, а, наименьшую температуру имеет центр цилиндра, который взаимодействуя с более нагретыми слоями, подвергается максимальным растягивающим напряжениям, что и отражено на рис. 5.

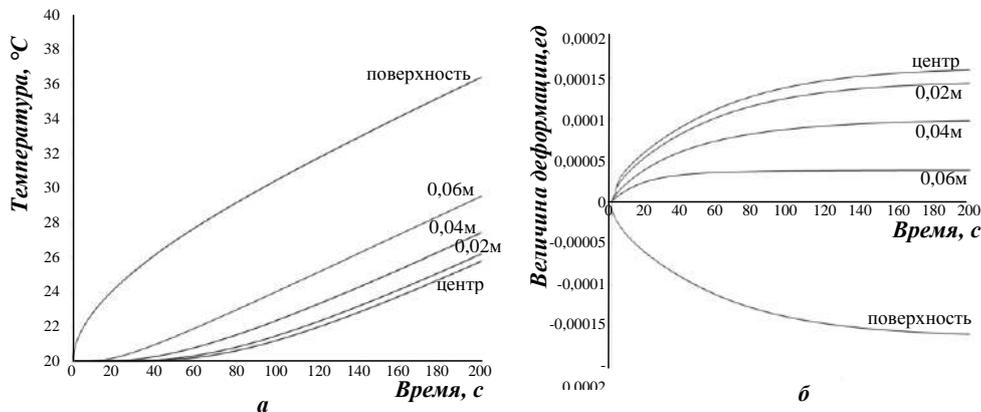


Рис. 3. Зависимости величин во времени по толщине слоя для цилиндра радиусом 0,1 м: а – зависимость температуры; б – зависимости величины деформации

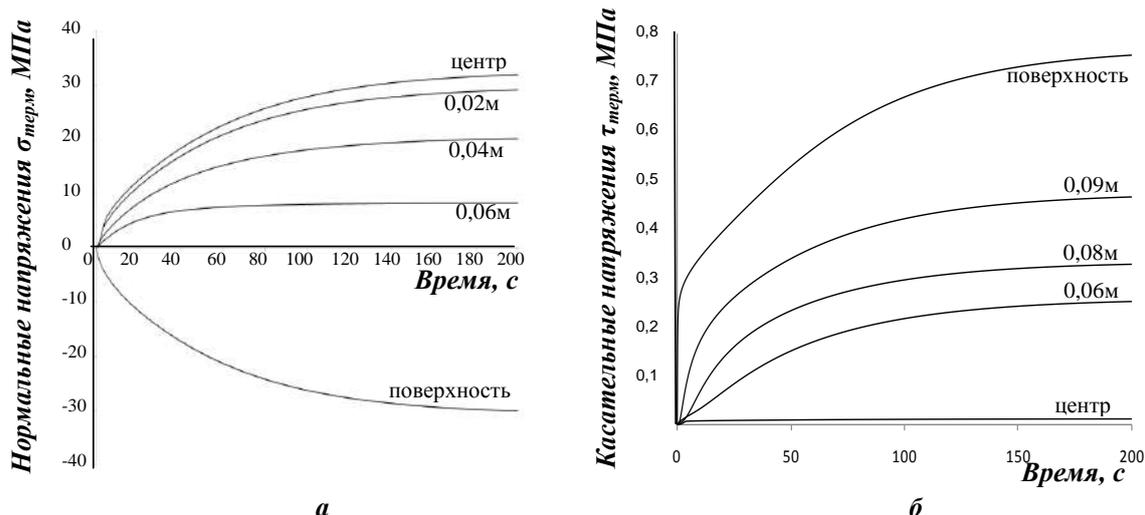


Рис. 4. Зависимости напряжений во времени по толщине слоя для цилиндра радиусом 0,1 м: а – зависимость нормальных напряжений; б – зависимость касательных напряжений

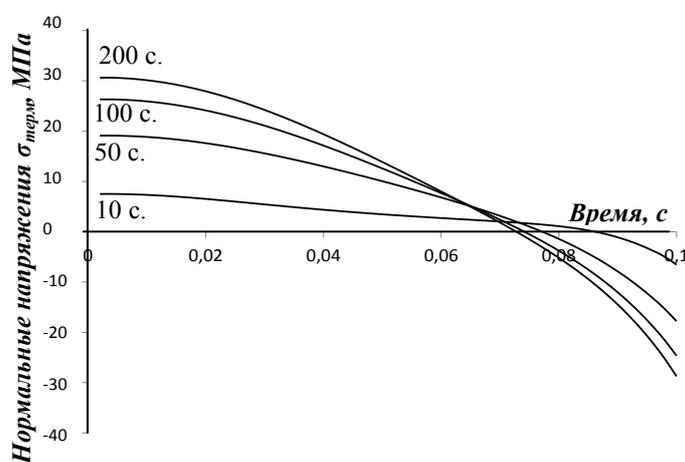


Рис. 5. Распределение напряжений во времени по радиусу цилиндра 0,1 м

При этом исследование изменения нормальных напряжений по радиусу цилиндра показывает, что существует переход от растянутых слоев к сжатым (точка пересечения с осью абсцисс) (рис. 5). В этих точках происходит только деформация чистого сдвига. Со временем положение слоев с деформацией чистого сдвига смещается к центру цилиндра.

Полученная картина распределения напряжений при продольных деформациях позволила определить главные напряжения  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ , возникающие при температурном перепаде по радиусу цилиндра (рис. 6, а, б). Расчет производится по следующим формулам [13]:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{\text{терм}}}{2} + \frac{\sqrt{\sigma_{\text{терм}}^2 + 4\tau_{\text{терм}}^2}}{2},$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{\text{терм}}}{2} - \frac{\sqrt{\sigma_{\text{терм}}^2 + 4\tau_{\text{терм}}^2}}{2}.$$

Как видно из рис. 6,  $\sigma_1$  значительно больше  $\sigma_2$ , что согласуется с существующими представлениями о напряженном состоянии стенки цилиндра. Однако анализ изменения напряженного состояния в исследуемых волокнах говорит о совпадении знаков главных напряжений. То есть центр объекта, слои на радиусах 0,02 и 0,04 испытывают всестороннее растяжение. Между тем поверхность цилиндра испытывает всестороннее сжатие.

Для выявления влияния геометрических параметров, выраженных радиусом цилиндра на его напряженно-деформированное состояние, был произведен расчет главных напряжений  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  цилиндра из стали 3 радиусом 0,05 м. Результаты расчета представлены на рис. 6. Как видно из рисунка, динамика роста напряженного состояния практически не изменяется от изменения радиуса, однако окончание роста главных напряжений

наступает значительно раньше, в районе 40 с. Это связано с более быстрым прогревом объекта [14] и, как следствие, с меньшим перепадом температур по радиусу цилиндра, что приводит к значительному падению возникающих максимальных растягивающих напряжений с 45,9 до 23,9 МПа и сжимающих с 43,1 до 22,5 МПа. Это соответствует физическому смыслу возникновения термонапряженного состояния объекта.

Полученные значения главных напряжений могут быть использованы для оценки прочности изделия. Учитывая, что сталь 3 относится к пластичным материалам, для обобщения полученных напряжений используем четвертую гипотезу прочности:

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}} = \sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2)} \leq [\sigma],$$

где  $\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}}$  – эквивалентное напряжение по четвертой гипотезе прочности, МПа;  
 $[\sigma]$  – допускаемое напряжение, МПа.

Или для плоского напряженного состояния, рассматриваемого в работе,

$$\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \leq [\sigma].$$

В момент времени  $t=200$  с изменение эквивалентного напряжения по радиусу цилиндра  $R=0,1$  м графически выразится следующей зависимостью (рис. 7).

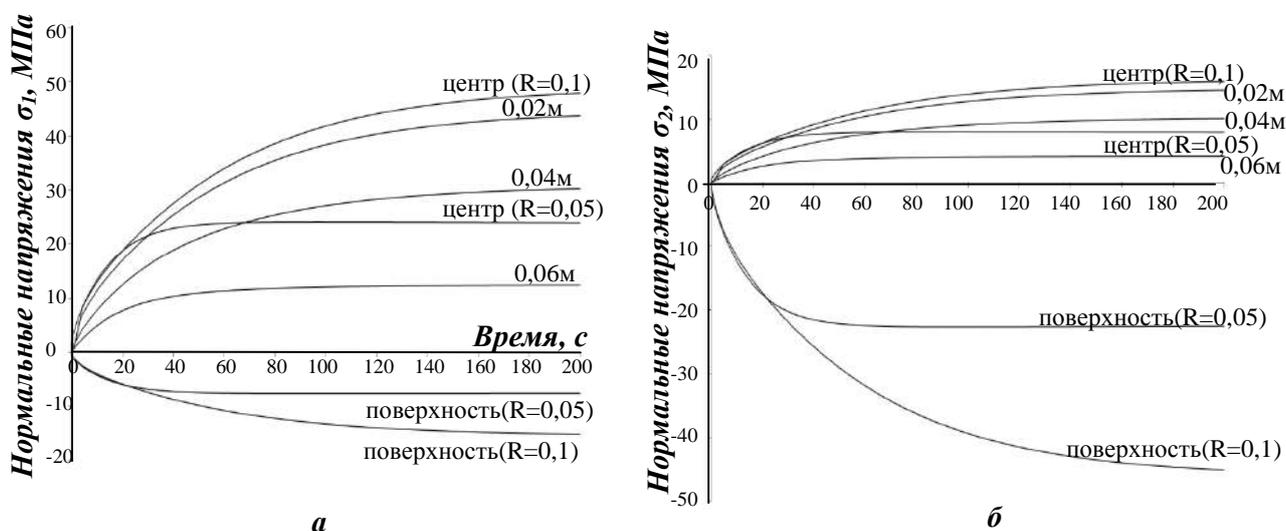


Рис. 6. Зависимости нормальных напряжений во времени по толщине слоя для цилиндров радиусом 0,1 и 0,05 м

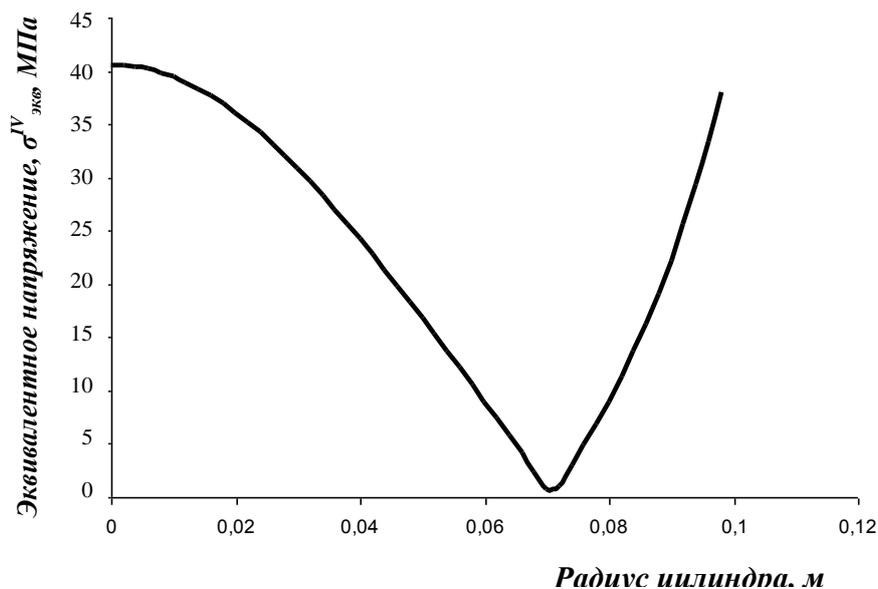


Рис. 7. Распределение эквивалентного напряжения  $\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}}$  по радиусу цилиндра

Для пластичного материала опасное состояние возникает при превышении им предела текучести как при деформация сжатия, так и растяжения. Это наблюдается на рис. 7, где рост эквивалентных напряжений  $\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}}$  происходит как на растянутых, так и сжатых слоях, при этом экстремум функции наблюдается в районе нейтрального слоя при переходе от растянутых слоев к сжатым (см. рис. 5). Сравнив полученные значения  $\sigma_{\text{экв}}^{\text{IV}}$  с допускаемыми напряжениями, можно произвести оценку прочности исследуемого цилиндра.

Моделирование и расчет термонапряженного состояния цилиндрического тела (в частности, прокатных валков при термообработке) позволяет сравнить текущее напряженное состояние с критическим с целью оценки прочности материала. Это обеспечивает на стадии проектирования технологического цикла термической обработки изделия выявление критических деформаций и напряжений, приводящих к разрушению стенки изделия и, как следствие, к возможности управления его напряженно-деформированным состоянием с целью исключения нарушения сплошности материала, приводящего к браку в отливке.

#### Список литературы

1. Вдовин К.Н., Савинов А.С., Феоктистов Н.А. Технологические особенности производства крупного стального литья. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. ун-та им. Г.И. Носова. 2015. – 195 с.
2. Roy T.K., Bhattacharya B., Ghosh C., Ajmani S.K. Advanced High Strength Steel, Springer Nature Singapore Pte Ltd, New York, 2018.
3. Hetnarski R.B. Encyclopedia of Thermal Stresses, Springer Dordrecht Heidelberg, New York, 2014.
4. Савинов А.С., Дьяченко Д.Я., Фролушкина К.А. Расчет температурных деформаций при охлаждении пластины // Механическое оборудование металлургических заводов: междунар. сб. науч. трудов. – Магнитогорск: ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2012. – С. 177 - 180.
5. Hetnarski R.B., Eslami M.R. Thermal Stresses - Advanced Theory and Applications, Springer, New York, 2009.
6. Fonstein N. Advanced High Strength Sheet Steels, Springer, New York, 2015.
7. Kharchenko V.V. Strength of Materials, Springer, New York, 2014.
8. Расчет термонапряженного состояния нагрева стального цилиндрического объекта / Колокольцев В.М., Савинов А.С., Андреев С.М., Ангольд К.В. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2019. – Т. 17. – №1. – С. 37-45.
9. Davies, Handbook of Condition Monitoring, Springer, New York, 1998.
10. Савинов А.С., Андреев С.М., Тубольцева А.С. Программа расчета тепловых полей в литейных системах // Литейщик России. – 2013. – №3. – С. 39–42.
11. Кузнецов Г.В., Шеремет М.А. Разностные методы решения задач теплопроводности. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.
12. Savinov A.S., Kolokoltsev V.M., Tuboltseva A.S. Calculation of impeded shrinkage processes of the casting in a sand layer // Calculation of Impeded Shrinkage Casting Processes in Sand Layer. Materials Science Forum. – 2016. – V. 870. – P. 516-522.
13. Дарков А.В., Шпиро Г.С. Сопrotивление материалов. – М.: Высш. шк., 1975. – 654 с.
14. Инновационные металлические материалы / Аксенова КВ., Барков Л.А., Барышников М.П., Бреда М., Валиев Р.З., Волокитина И.Е., Голубчик Э.М., Громов В.Е., Гун Г.С., Гундеров Д.В., Дельгадо Рейна С.Ю., Довженко Н.Н., Дроздова Т.Н., Дья Х.И., Емалеева Д.Г., Ефимова Ю.Ю., Иванов Ю.Ф., Калляри И., Колокольцев В.М., Коновалов С.В. и др.; под общ ред. В.М. Колокольцева. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск, гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 371 с.
15. Дюрелли А., Райли У. Введение в фотомеханику. – М.: Изд-во Мир, 1970. – 423 с.
16. Абрамов В.В. Остаточные напряжения и деформации в металлах. – М.: Изд-во МАШГИЗ, 1963. – 355 с.
17. Степин П.А. Сопrotивление материалов. – М.: Высш. шк., 1975. – 654 с.

#### Сведения об авторе

**Ангольд Каролина Владимировна** – студ. (специалитет) каф. ПиЭММО, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: angoldk@bk.ru.

УДК 669.1

## ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ШЛАКООБРАЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО ХОДУ КОВШЕВОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ С РЕГЛАМЕНТИРОВАННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ФОСФОРА

Соколова Е.В., Бигеев В.А.

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

**Аннотация.** Производство оцинкованного холоднокатаного проката – важное направление работы металлургических предприятий. Для производства такого автолиста используют If-стали. Как и любая металлоконструкция в процессе эксплуатации в той или иной степени кузов автомобиля подвержен коррозии. Одним из самых эффективных способов защиты кузова является цинкование поверхности листов. Кроме цинкования поверхности листов, разрабатывают и применяют другие методы защиты кузова автомобиля от коррозии. Особое место занимают IF-стали с регламентированным содержанием фосфора, который наряду с повышением коррозионной стойкости стали увеличивает ее прочность. В число лидеров по производству оцинкованного проката входит ПАО «ММК». Для изготовления такого листа ПАО «ММК» использует сталь с регламентированным содержанием фосфора марки НХ220ВD. Технология производства данной марки стали существенно отличается от других марок стали тем, что на выпуске в сталеразливочный ковш наряду с другими добавками подается феррофосфор. Неизученным остается поведение шлакообразующих элементов по ходу ковшевой обработки таких сталей. В данной статье рассматривается поведение фосфора, а также шлакообразующих элементов (кремний, марганец, сера) по ходу ковшевой обработки данной марки стали.

**Ключевые слова:** ковшевая обработка, стали с регламентированным содержанием фосфора, шлакообразующие элементы, марганец, кремний, сера.

В настоящее время одним из приоритетных направлений работы металлургических предприятий нашей страны является производство оцинкованного холоднокатаного проката. Данный тип продукции используется для производства наружных элементов кузовов автомобилей. Потребность в данной категории проката обуславливается повышением количества производимых на территории России автомобилей. В 2018 г. отечественные автозаводы в общей сложности произвели 1,77 млн единиц автомобильной техники, что на 13,9% больше, чем годом ранее [1].

Для производства такого автолиста используют If-стали. Благодаря использованию этого класса сталей достигается высокая прочность в сочетании с высокой штампуемостью. Это, в свою очередь, позволяет использовать прокат меньшей толщины в конструкции кузова автомобиля, что обеспечивает снижение его массы [2].

Как и любая металлоконструкция, в процессе эксплуатации в той или иной степени кузов автомобиля подвержен коррозии. Если вовремя не предпринять должные меры, в дальнейшем коррозия может привести кузов в непригодное состояние [3].

Заводы-изготовители применяют для автокузовной стали защитные покрытия. Одним из самых эффективных способов защиты кузова является цинкование поверхности листов [4].

Кроме цинкования поверхности листов, разрабатывают и применяют другие методы защиты кузова автомобиля от коррозии. Особое место занимают IF-стали с регламентированным содержанием фосфора, который наряду с повышением коррозионной стойкости стали увеличивает ее прочность [5].

В число лидеров по производству оцинкованного проката входит ПАО «ММК». В табл. 1 представлено количество выпускаемого предприятием оцинкованного проката в период с 2016 до 2018 гг. [6].

Таблица 1

Количество выпускаемого ПАО «ММК» оцинкованного проката в период с 2016 до 2018 г.

Календарный год	2016 г.	2017 г.	2018 г.
Количество оцинкованного проката, тыс. тонн	511	580	613

Для изготовления такого листа ПАО «ММК» использует сталь с регламентированным содержа-

нием фосфора марки НХ220ВD. В табл. 2 представлен химический состав этой марки стали.

Технология производства данной марки стали существенно отличается от других марок стали тем, что на выпуске в сталеразливочный ковш наряду с другими добавками подается феррофосфор. После этого плавка обрабатывается на участке ковшевой обработки по схеме: установка печь-ковш (УПК) – установка вакуумирования стали (УВС) – УПК. Внепечная обработка является важнейшим звеном в схеме производства сталей [7-10] с регламентированным содержанием фосфора.

Неизученным остается поведение фосфора и шлакообразующих элементов по ходу ковшевой обработки.

В ходе промышленного производства были отобраны дополнительные пробы металла. В табл. 3 и на рис. 1 представлено изменение содержания фосфора в металле и шлаке по результатам химического анализа проб металла по ходу ковшевой обработки стали.

Первая порция феррофосфора подается во время выпуска металла из конвертера, в этот момент содержание фосфора в металле и в шлаке увеличивается. Вторая порция феррофосфора подается до передачи на установку вакуумирования стали и поэтому во время обработки на этом агрегате наблюдается прирост содержания фосфора в металле и в шлаке.

Таблица 2

Химический состав стали марки НХ220ВD

Химический элемент	C	Si	Mn	P	S	Al
Содержание, %	≤0,005	<0,03	0,4-0,6	0,04-0,06	≤0,009	0,05-0,07

Таблица 3

Изменение содержания фосфора в металле и шлаке по результатам химического анализа проб металла по ходу ковшевой обработки стали

Номер пробы	Время от начала обработки, мин	Содержание фосфора в металле, %	Содержание фосфора в шлаке, %
0	0	0,0300	Нет данных
1	7	0,0327	2,012
2	57	0,0400	2,945
5	77	0,0410	Нет данных
6	86	0,0446	2,784
7	100	0,0427	Нет данных
8	110	0,0422	2,565

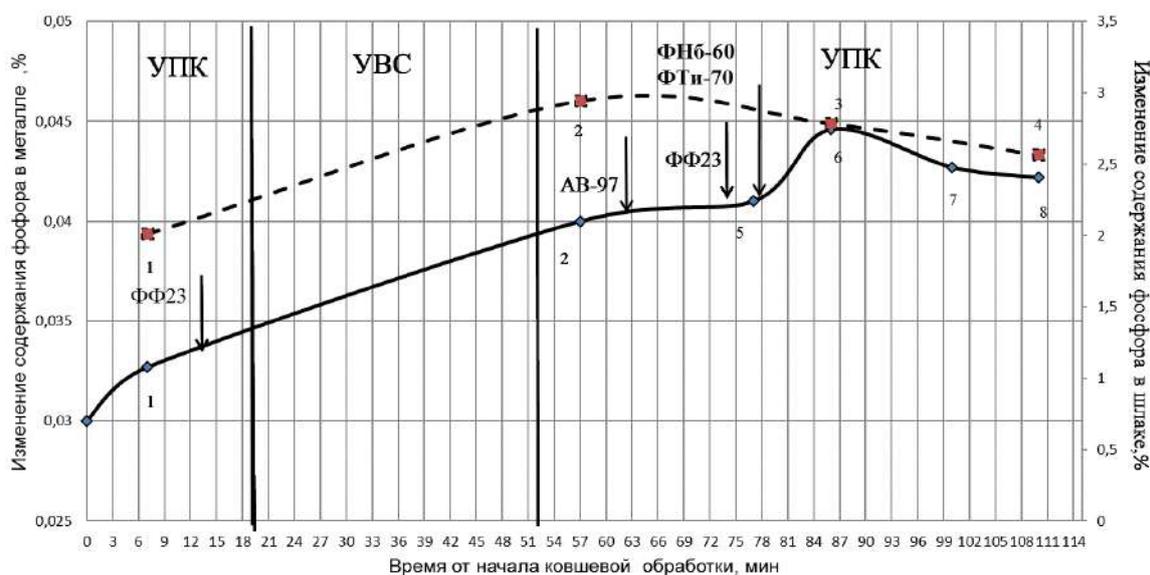


Рис. 1. Изменение содержания фосфора в металле и шлаке:

----- – в шлаке;  
 \_\_\_\_\_ – в металле

После обезуглероживания и дегазации металла начинается заключительный третий этап обработки на УПК. Для раскисления металла и шлака подается алюминиевая катанка. Затем начинается этап активного перемешивания и добавления оставшегося объема феррофосфора. Здесь содержание фосфора заметно увеличилось, а в шлаке уменьшилось. Далее идет этап легирования ферротитаном и феррониобием. В свою очередь, часть ферротитана переходит в виде оксида в шлак, восстанавливая оксид фосфора. Фосфор в металле растет, соответственно, в шлаке уменьшается. Из рис. 1 видно, что наибольшее увеличение содержания фосфора наблюдалось после раскисления стали (0,0446%).

Использование алюминиевой катанки способствовало переходу фосфора из шлака в металл.

Таким образом, от раскисления металла и шлака алюминием во многом зависит восстановление фосфора и его содержание в стали. Поэтому по результатам исследования возможным вариантом повышения эффективности перехода фосфора из шлака в металл является частичная замена алюминиевой катанки алюминиевой дробью. Ее применение целесообразно проводить на третьем этапе обработки, после обезуглероживания перед вводом катанки. В это время металл уже раскислен, что позволит предотвратить окисление фосфора и переход его обратно в шлак [5].

В табл. 4 представлено содержание кремния, марганца и серы по ходу ковшевой обработки стали.

На рис. 2 представлено изменение содержания кремния по ходу ковшевой обработки.

Таблица 4

Содержание кремния, марганца и серы по ходу ковшевой обработки стали

Время, мин	Si, %	Mn, %	P, %	S, %
7	0,0021	0,3368	0,0327	0,0087
57	0,0007	0,3848	0,0418	0,0079
72	0,0016	0,3866	0,0392	0,0082
77	0,0050	0,3870	0,0410	0,0080
86	0,0029	0,4279	0,0446	0,0080
100	0,0050	0,4320	0,0427	0,0079
120	0,0050	0,4190	0,0422	0,0079

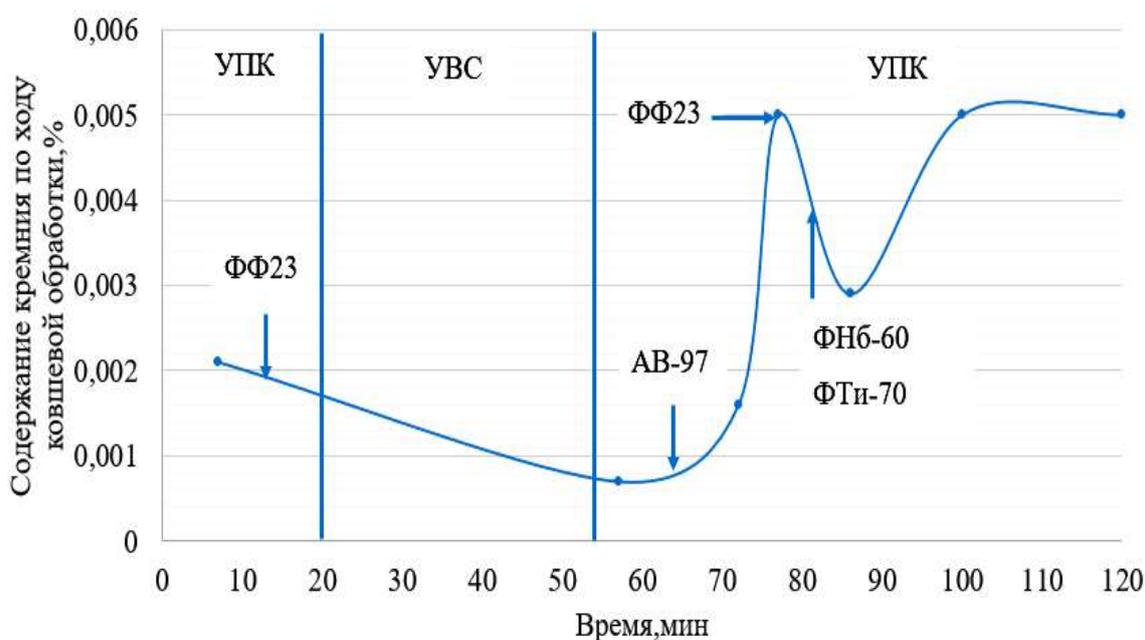
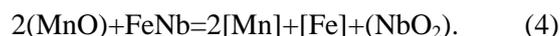
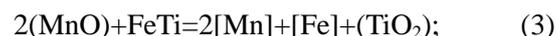
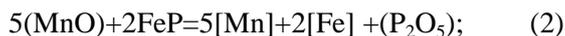
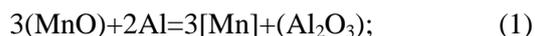


Рис. 2. Изменение содержания кремния по ходу ковшевой обработки

По ходу ковшевой обработки, в целом, наблюдается увеличение содержания кремния в стали с 0,002 до 0,005%. При ограничении по стандарту содержания кремния не более 0,030 данный прирост не является принципиальным.

На рис. 3 представлено изменение содержания марганца по ходу ковшевой обработки.

Содержание марганца возрастает с разной интенсивностью с 0,34 до 0,42 %, в результате восстановления этого элемента из ковшевого шлака. Видимо, протекает ряд реакций:



Такой заметный прирост содержания марганца заставляет обеспечивать в металле содержание этого элемента перед обработкой ниже требований ГОСТ. В данном случае 0,34% при требованиях ГОСТ 0,40-0,60%.

На рис. 4 представлено изменение содержания серы по ходу ковшевой обработки.

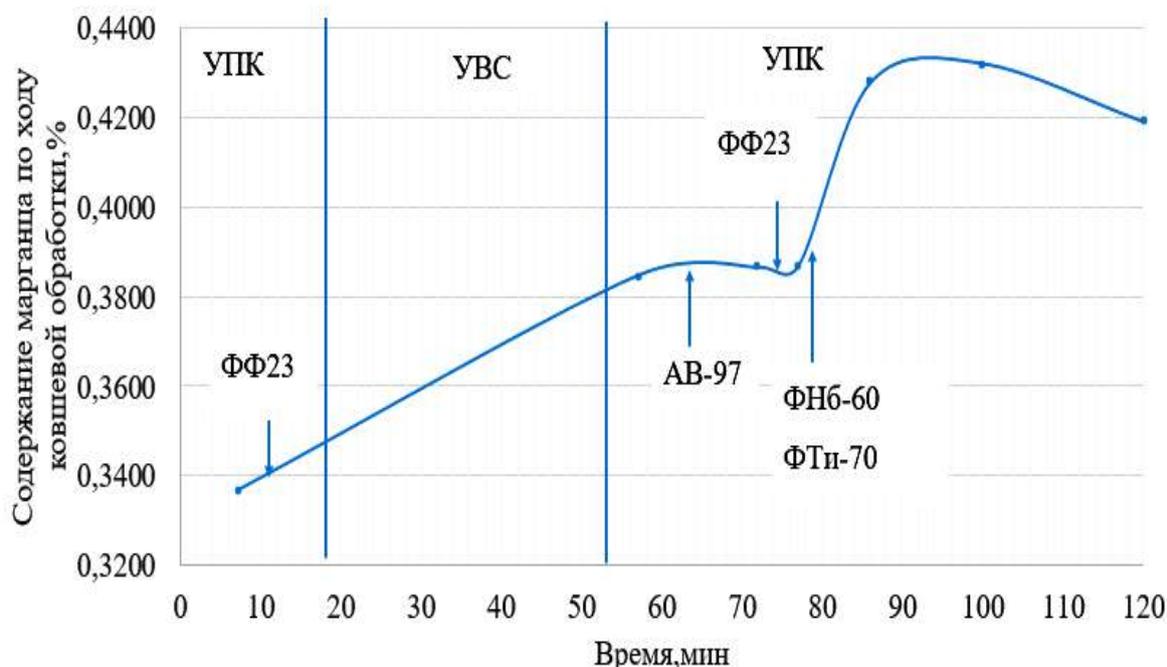


Рис. 3. Изменение содержания марганца по ходу ковшевой обработки

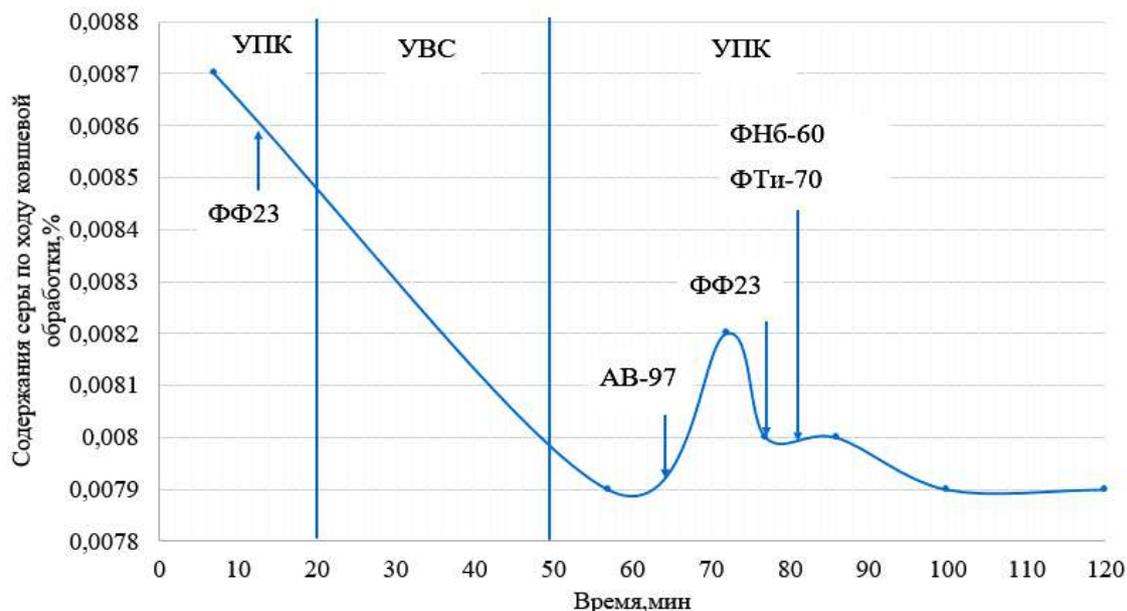


Рис. 4. Изменение содержания серы по ходу ковшевой обработки

Наблюдается снижение содержания серы в металле до менее 0,0080% при кратковременном увеличении до 0,0082% после 70-й минуты обработки. На данном этапе исследования данный факт пока не получил объяснения.

Таким образом, в данной статье было исследовано поведения фосфора и других шлакообразующих элементов по ходу ковшевой обработки стали с регламентированным содержанием фосфора. Были выявлены следующие закономерности:

1. От раскисления металла и шлака алюминием во многом зависит восстановление фосфора и его содержание в стали. Поэтому по результатам исследования возможным вариантом повышения эффективности легирования металла фосфором является частичная замена алюминиевой катанки алюминиевой дробью.

2. Следует учитывать заметное восстановление марганца из шлака по ходу обработки на агрегате печь-ковш. Прирост содержания марганца достигает 0,1% и более. При расчете присадки марганцевых сплавов на выпуске металла из конвертера следует ориентироваться на нижний предел содержания этого элемента в стали.

3. Прирост содержания кремния является незначительным и составляет 0,003%, что безусловно укладывается в установленные для этой стали пределы содержания кремния.

4. Наведение раскисленного «белого» шлака обеспечивает содержание серы в металле менее 0,010%.

### Список литературы

1. Аналитическое агентство «Автостат» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://www.autostat.ru/infographics/39008/> (03.05.2019)
2. Корпоративный ресурс «Северсталь» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: URL: <https://www.severstal.com/rus/products/metalloprokat-i-truby/holodnokatanyj-prokat> (02.05.2019)
3. Старостин К. В. Защита кузова автомобиля от коррозии // Молодой ученый. — 2016. — №25. — С.85-89.
4. Соломахин Ю. В., Шилов Е. С. Защита кузова легкового автомобиля от коррозии с помощью цинковых элементов // Молодой ученый. — 2016. — №9. — С. 301-304.
5. Соколова Е.В. Особенности ковшевой обработки If-стали с регламентированным содержанием фосфора // Теория и технология металлургического производства. — 2016. — №2(19). — С. 29-31.
6. Годовой отчет ММК за 2017 год [Электронный ресурс]: утвержден протокол от 01.06.2018. Режим доступа: URL: [http://www.mmk.ru/upload/iblock/9dd/\(28.04.2019\)](http://www.mmk.ru/upload/iblock/9dd/(28.04.2019))
7. Бигеев А.М., Бигеев В.А. Металлургия стали. Теория и технология плавки стали: учебник для вузов [Текст]. -3-е изд.перераб и доп.- Магнитогорск: МГТУ, 2000-544 с. -ISBN5-7114-0179-3
8. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологи в высокопроизводительном электросталеплавильном цех: учеб. пособие. — Магнитогорск: МГТУ, 2014. —308 с. — ISBN 978-5-9967-0563-4.
9. Ковшовая десульфурация конвертерной трубной низкосернистой стали / С.Н. Ушаков, В.А. Бигеев, А.М. Столяров, М.В. Потапова // Металлург. — 2018. — №7. — С. 50-53.
10. Ushakov S.N., Avramenko V.A., Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Potapova M.V. Manufacture of low-sulfur pipe steel with ladle desulfurization of cast iron // Metallurgist. — 2018. — Т. 61. — №11-12. — С. 967-970.

### Сведения об авторах

**Соколова Екатерина Владиславовна** – асп. каф. металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [Katish\\_moon@mail.ru](mailto:Katish_moon@mail.ru).

**Бигеев Вахит Абдрашитович** – д-р техн. наук, проф., проф. каф. металлургии и химических технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [v.bigeev11@yandex.ru](mailto:v.bigeev11@yandex.ru)

УДК 662.749.33:543.544

## ГАЗОХРОМАТОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ СМОЛЫ

Смирнов А.Н., Сысоев В.И., Крылова С.А., Жусупова Ж.С., Никифорова В.М.

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

**Аннотация.** В статье представлены результаты газохроматографического исследования фракций, полученных в результате переработки каменноугольной смолы в присутствии оксидного железо-магнезиального катализатора – продукта комплексной переработки Бакальских высокомагнезиальных сидеритов. Для анализа были выбраны фракции, выход которых в присутствии катализатора изменился наиболее значительно. Установлено, что катализатор проявил селективность в отношении только одного из определенных компонентов – нафталина: его содержание во фракции с температурами кипения веществ 230-270 °С увеличилось в 1,4 раза, а во фракции с температурами кипения веществ 410-450°С снизилось в 6,3 раза.

**Ключевые слова:** переработка каменноугольной смолы, катализатор оксидный железо-магнезиальный, высокомагнезиальные сидеритовые руды, газохроматографический анализ, калибровка метода, индексы удерживания.

### Введение

В настоящее время в целях изучения процессов переработки тяжелых углеводородных смесей широко применяется метод газожидкостной хроматографии, позволяющий сделать выводы о химических превращениях, происходящих в органическом комплексе соединений. Газохроматографический анализ продуктов переработки природных смесей углеводородов, таких как каменноугольная смола (КУС) или первичная смола полукоксования угля, имеет ряд особенностей, обусловленных сложным многокомпонентным составом природного сырья, дополнительно усложняющимся появлением в процессе переработки новых веществ.

Для продолжения исследований по влиянию оксидного железо-магнезиального катализатора [1-3] на процессы термической переработки углеродсодержащего сырья [4-10] и проведения газохроматографического анализа продуктов конверсии нами были приобретены и использованы стандарты, необходимые для качественной и количественной идентификации веществ.

### Калибровка хроматографического метода по стандартным смесям

Калибровка газохроматографического метода определения состава продуктов каталитической переработки углеродсодержащих материалов была проведена по стандартной смеси углеводородов – полициклических ароматических углеводородов

(ПАУ). Характеристики стандартной смеси приведены в табл. 1.

Анализ проводился на газохроматографическом комплексе «Хроматэк Кристалл 5000» на капиллярной колонке ZB5-ms (5% фениларилен, 95% диметилполисилоксан) в режиме линейного нагрева со скоростью 6 °С/мин. При таком режиме нагрева (из нескольких исследованных) достигалось наиболее четкое разделение пиков компонентов на хроматограмме. Кроме того, для этой скорости линейного нагрева в литературе имеется большое число данных по индексам удерживания веществ. В качестве газа-носителя использовался азот.

Хроматограмма стандартной смеси представлена на рис. 1.

Количественный анализ проводили методом абсолютной калибровки, используя калибровочные графики по стандартной смеси ПАУ.

Изучение каталитических свойств оксидного железомagneзиального катализатора – продукта комплексной переработки Бакальских высокомагнезиальных сидеритов – представляет большой интерес с точки зрения перспективы более глубокой переработки КУС. Нами была проведена серия опытов по фракционированию КУС в присутствии такого катализатора.

### Условия эксперимента

Количество загружаемой в реактор смолы во всех опытах составляло 100 г, а количество добавляемого катализатора при фракционировании КУС – от 15 до 60 г. Каталитическая реакция проводилась в стальном реакторе периодического ти-

па, который нагревался в муфельной печи в соответствии с заданным температурным режимом. Отбор конденсируемых фракций производился непрерывно (без остановки процесса), по мере выкипания. Во всех опытах скорость нагрева составляла 5 °С/мин, нагрев проводился до 500 °С, поскольку по достижении этой температуры по-

ступление конденсируемых продуктов реакции в приемник практически прекращалось. Отбор фракций КУС осуществлялся в температурных интервалах, приведённых в табл. 2.

На рис. 2 приведена зависимость выхода фракций от количества добавляемого катализатора по сравнению с некаталитической реакцией [9].

Таблица 1

Характеристики стандартной смеси ПАУ

Вещество	Брутто-формула	Молекулярная масса, а.е.м.	Температура кипения, °С	Концентрация, мгк/мл	Время выхода, мин
нафталин	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub>	127,17	217,96	1998,2	18,3
аценафтилен	C <sub>12</sub> H <sub>8</sub>	152,19	265-275	1998,2	24,9
2-бромнафталин	C <sub>10</sub> H <sub>7</sub> Br	207,08	282	1998,4	25,5
аценафтен	C <sub>12</sub> H <sub>10</sub>	154,20	279	1984,0	25,7
флуорен	C <sub>13</sub> H <sub>10</sub>	166,22	293-295	1976,2	27,9
фенантрен	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,24	340,1	1982,2	31,9
антрацен	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub>	178,23	342	1997,6	32,1
флуорантен	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,25	384	1964,2	36,9
пирен	C <sub>16</sub> H <sub>10</sub>	202,26	392	2000,2	37,8
бензантрацен	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,29	438	1998,4	42,9
хризен	C <sub>18</sub> H <sub>12</sub>	228,30	448	1991,8	43,1
бензо(b)флуорантен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,30	481	1998,2	47,2
бензо(a)пирен	C <sub>20</sub> H <sub>12</sub>	252,32	310	1976,4	48,4
индено(1,2,3-с,d)пирен	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,33	536	1996,0	53,3
дибенз(a,h)антрацен	C <sub>22</sub> H <sub>14</sub>	278,35	524	1998,0	53,4
бензо(g,h,i)перилен	C <sub>22</sub> H <sub>12</sub>	276,33	525	1981,6	54,7

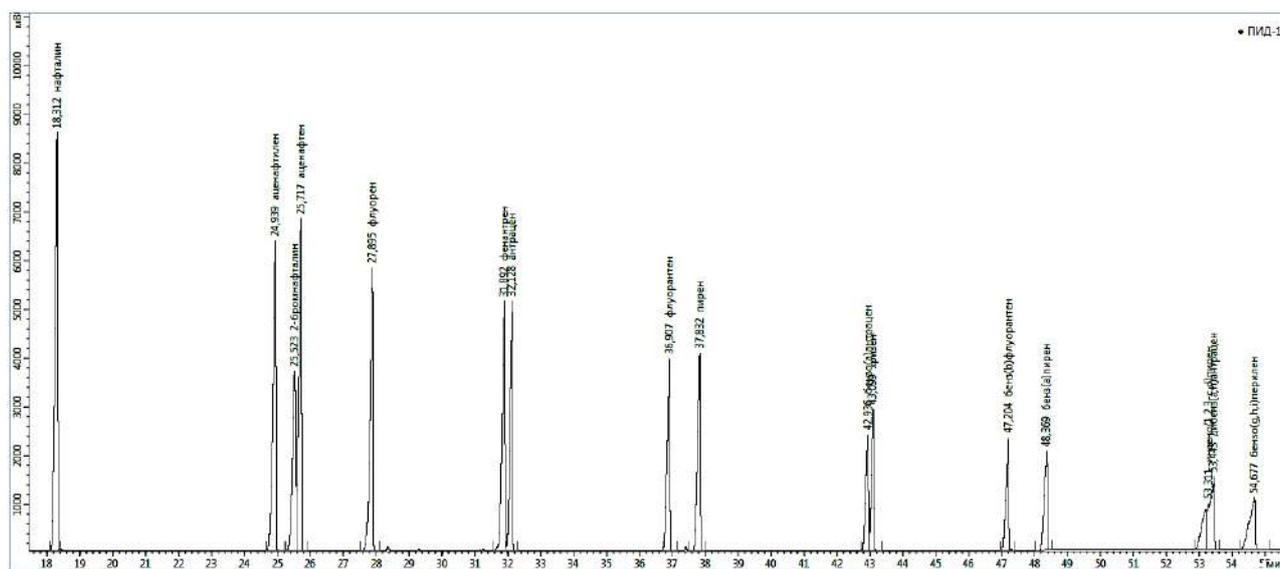


Рис. 1. Хроматограмма стандартной смеси ПАУ

Таблица 2

Температурные интервалы кипения конденсируемых фракций

Номер фракции	1	2	3	4	5	6	7
Температурный интервал кипения, °С	До 180	180-230	230-270	270-350	350-410	410-450	450-500

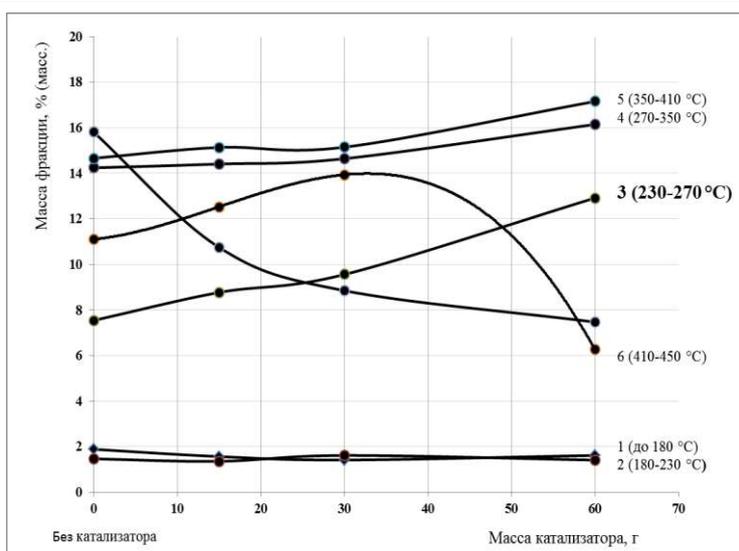


Рис. 2. Выход фракций КУС в зависимости от массы используемого катализатора по сравнению с некаталитической реакцией

### Результаты и обсуждение

Среди полученных фракций наибольшее увеличение выхода наблюдалось для фракции 3 (пределы выкипания 230-270°C), а наибольшее уменьшение – для фракции 6 (410-450°C), поэтому эти фракции были проанализированы в первую очередь. На рис. 3 и 4 представлены хроматограммы фракций 3 и 6.

Количественный анализ фракций 3 и 6, полученных в результате каталитической переработки каменноугольной смолы (количество добавляемого катализатора 60 г) был проведен по веществам, используемым для абсолютной калибровки (см. табл. 1).

Одним из преобладающих веществ во фракции 3 является нафталин. В присутствии катализатора его содержание в этой фракции увеличилось в 1,4 раза, а во фракции 6 снизилось в 6,3 раза.

Уменьшение содержания нафталина в тяжелой фракции 6 объясняется его деструкцией и переходом продуктов разложения в более легкие фракции. Аналогичные тенденции наблюдались и для других ПАУ, определенных с помощью абсолютной калибровки по стандартной смеси. Вместе с тем было установлено, что при увеличении общего содержания определенных компонентов в более легкой фракции 3 соотношение между ними практически не изменяется, за исключением нафталина. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в данных условиях исследуемый катализатор проявляет селективность только по отношению к нафталину.

Поскольку исследуемые системы имеют сложный многокомпонентный состав, то кроме веществ, определенных количественно методом абсолютной калибровки, в них содержится целый

ряд других веществ, выходящих на хроматограммах в виде неидентифицированных пиков.

Для идентификации веществ в хроматографии наряду с временем удерживания используется параметр, называемый индексом удерживания. В газовой хроматографии для определения индекса удерживания в качестве стандартов берут два соседних *n*-алкана или ПАУ (как в нашем случае), один из которых элюируется до исследуемого соединения, а второй после. Затем по справочным таблицам можно определить круг веществ, которые имеют близкую к рассчитанной величину индекса. Качественное определение некоторых основных неидентифицированных веществ было проведено нами с помощью системы индексов удерживания [11] по формуле

$$I_R = 100 \cdot \frac{(t_i - t_n)}{(t_{n+1} - t_n)} + 100 \cdot n,$$

где  $I_R$  – индекс удерживания идентифицируемого компонента;

$t_i$  – время удерживания идентифицируемого компонента, мин;

$t_n$  – время удерживания  $n$ -го компонента стандартной смеси – пика, ближайшего к исследуемому веществу слева на хроматограмме (левая граница временного интервала, в котором производится интерполяция), мин;

$t_{n+1}$  – время удерживания  $(n+1)$ -го компонента стандартной смеси – компонента, ближайшего к исследуемому веществу справа на хроматограмме (правая граница временного интервала, в котором производится интерполяция), мин;

$n$  – номер компонента стандартной смеси в опорном базисе компонентов данной системы индексов:  $n(\text{нафталина}) = 2$ ,  $n(\text{фенантрена}) = 3$ ,  $n(\text{хризена}) = 4$ ,  $n(\text{пицена}) = 5$ .

Например, расчет величины индекса удерживания для неидентифицированного компонента смеси с большой площадью пика и временем выхода 19,774 мин проводился следующим образом. Пик расположен между пиками нафталина и фенантрена, поэтому именно их времена выхода используются в качестве опорных:

$$I_R = 100 \cdot \frac{(19,774 - 18,312)}{(31,892 - 18,312)} + 100 \cdot 2 = 210,766.$$

Сравнение рассчитанных по данной формуле индексов удерживания с литературными данными [12] позволяет провести качественную идентификацию компонентов исследуемой смеси. Результаты качественной идентификации представлены в табл. 3.

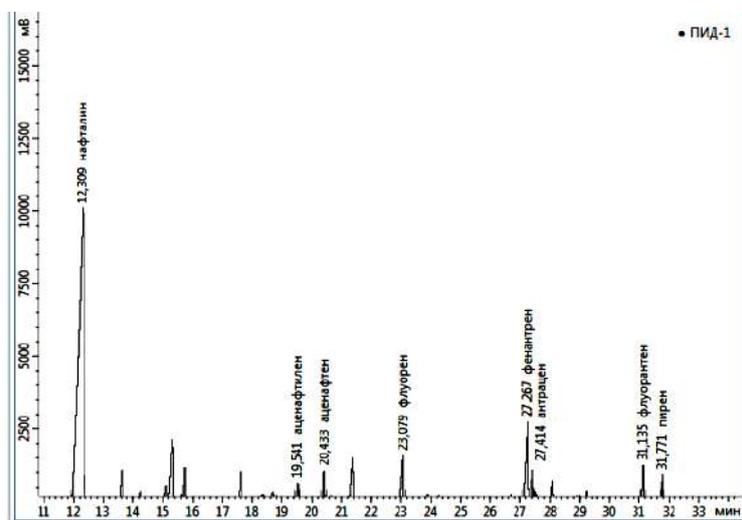


Рис. 3. Хроматограмма фракции КУС 3 (230-270 °С)

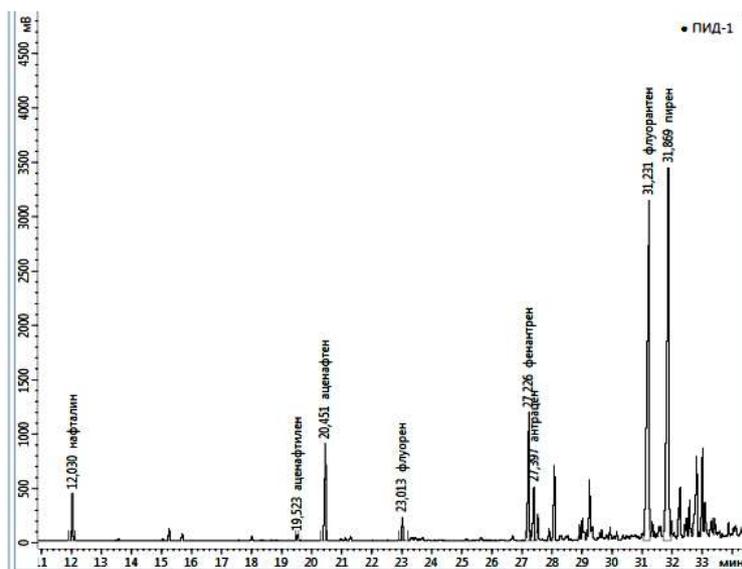


Рис. 4. Хроматограмма фракции 6 (410-450 °С)

Таблица 3

Результаты качественной идентификации некоторых компонентов исследуемых фракций с наибольшими площадями пиков

Время выхода идентифицируемого компонента, мин	$I_R$	Идентифицированное вещество	Брутто-формула	Молекулярная масса, а.е.м.	Температура кипения, °С
19,774	210,766	хинолин	$C_9H_7N$	129,16	237,1
21,265	221,745	1-метилнафталин	$C_{11}H_{10}$	142,20	241,5
21,613	224,308	8-метилхинолин	$C_{10}H_9N$	143,19	246,5
26,435	259,816	2,3,6-триметилнафталин	$C_{13}H_{14}$	170,25	263,5

### Заключение

Применение для анализа продуктов переработки каменноугольной смолы газохроматографического метода с выполненной калибровкой по стандартной смеси позволило количественно определить ряд веществ, входящих в состав продуктов переработки и проанализировать влияние оксидного железомagneзиального катализатора на процесс. Установлено, что в присутствии оксидного железомagneзиального катализатора содержание основного индивидуального компонента фракции с температурами кипения веществ 230-270 °С – нафталина увеличилось в 1,4 раза, а во фракции с температурами кипения веществ 410-450 °С – снизилось в 6,3 раза. В отношении остальных веществ селективность катализатора нами не наблюдалась. Полученные результаты могут быть полезны при разработке технологий переработки каменноугольной смолы.

### Список литературы

1. Пат. РФ № 2536618. Способ переработки сидеритовых руд (Варианты) / Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Колокольцев В.М. – 2014.
2. Пат. РФ № 2471564. Способ переработки сидеритовых руд / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Бигеев В.А., Колокольцев В.М., Бессмертных А.С. – 2013.
3. Клочковский С.П., Смирнов А.Н., Савченко И.А. Разработка физико-химических основ комплексного использования высокомагнезиальных сидеритов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2015. – № 1 (49). – С. 26-31.
4. Исследование возможности использования катализаторов на основе продуктов переработки высокомагнезиальных сидеритов в реакциях конверсии этанола / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Абдрахманов Р.Н., Сысоев В.И. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2016. – №.1. – С. 258-260.
5. О возможности применения оксидных железомagneзиальных контактов в реакции водяного газа / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Сысоев В.И., Строгонов Д.А. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – №.2. – С. 66-70.
6. Каталитическая активность продуктов обжига высокомагнезиальных сидеритов / Смирнов А.Н., Клочковский С.П., Крылова С.А., Сысоев В.И. // Вестник Башкирского университета. – 2017. – Т. 22. – № 3. – С. 657-665.
7. Investigation of the Catalytic Activity of the Middlings of High-Magnesian Siderites Processing/ Smirnov A.N., Sysoev V.I., Krylova S.A.//Recent Patents on Materials Science. 2017. Т. 10. № 2. С. 136-141.
8. Gasification of the kuznetsk basin coal concentrate using oxide iron-magnesium catalysts/Andrey N. Smirnov, Stanislav P. Klochkovsky, Svetlana A. Krylova, Viktor I. Sysoev //Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 54, 2, 2019, 286-291.
9. Сысоев В.И., Смирнов А.Н., Крылова С.А. Переработка углеродсодержащего сырья на оксидных железомagneзиальных катализаторах // VII международный Российско-Казахстанский симпозиум «Углекислота и экология Кузбасса»: сб. тез. докл. – 2018. – С. 95.
10. Исследование процесса конверсии каменноугольной смолы в присутствии оксидного железомagneзиального катализатора / Смирнов А.Н., Крылова С.А., Сысоев В.И., Никифорова В.М., Жусупова Ж.С., Емельянов М.Д. // Качество в обработке материалов. – 2018. – № 1 (9). – С. 44-47.
11. Van Den Dool, H., Kratz, P.D., J. Chromatography, 1963, 11, 463-471.
12. Lee M.L., Vassilaros D.L., White C.M., Novotny M., Anal. Chem., 1979, 51(6), 768-773.

### Сведения об авторах

**Смирнов Андрей Николаевич** – д-р физ.-мат. наук, доц., проф. каф. М и ХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sman@magtu.ru.

**Крылова Светлана Александровна** – канд. хим. наук, доц. каф. М и ХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: svkryl@mail.ru.

**Сысоев Виктор Иванович** – магистрант каф. М и ХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: viktor.sysoev.86@yandex.ru.

**Никифорова Валерия Максимовна** – студ. каф. М и ХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: blasphemera@mail.ru.

**Жусупова Жанар Серекпаевна** – студ. каф. М и ХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail:79512445186@ya.ru.

УДК 621.771.07.003.13

## РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕЛ ВРАЩЕНИЯ

Соколов П.Б., Муравьева А.В.

ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург

**Аннотация.** Разработаны принципиально новые конструкции бандажированных валков и других тел вращения, позволяющие полностью исключить смещение составных частей соединения друг относительно друга и увеличить срок их эксплуатации.

По просьбе ООО «ВИЗ-Сталь» на производственной площадке ПАО «Уралмашзавод» проведено восстановление работоспособности списанных опорных валков 1400×1300 на основе инновационных разработок.

Эксплуатация бандажированных валков в условиях тяжелонагруженного стана 1300 холодной прокатки подтвердила правильность конструкторских и технологических решений, обеспечивших их стабильную работу и стойкость к аварийным ситуациям.

Восстановление работоспособности списанных прокатных валков с использованием износостойких бандажей позволит металлургическим предприятиям существенно повысить эффективность прокатного производства за счет снижения затрат на приобретение валков и повышения качества готового проката.

На основе инновационных разработок в ПАО «Уралмашзавод» произведен ремонт и восстановление работоспособности промышленного центробежного вентилятора, что позволило обеспечить ввод на проектную мощность всего нового комплекса фабрики окомкования ПАО «Михайловский горнообогатительный комбинат».

С момента ввода в эксплуатацию после ремонта вентилятор работает в штатном режиме без каких-либо сбоев или отказов оборудования. Вентилятор соответствует всем требованиям надежности, замечаний к его работе со стороны работников комбината нет.

Благодаря своей универсальности разработанные варианты конструкций и принцип соединения целесообразны к использованию в мостовых кранах, шахтных подъемных машинах и другом оборудовании различных отраслей промышленности.

**Ключевые слова:** бандажированный валок, несущая ось, бандаж, ступица, эксцентрик, натяг, эксплуатационная стойкость, эффективность, промышленный вентилятор, мостовой кран, шахтная подъемная машина.

В настоящее время метод бандажирования валков является наиболее распространённым для восстановления работоспособности прокатных валков. Благодаря сквозному прокаливанию бандажей достигается равномерное распределение твердости по всей длине активного (рабочего) слоя, снижается градиент остаточных напряжений, достигается разброс твердости вдоль бочки валка, соответствующий современным требованиям мировых стандартов (не более 2 HSD). К тому же использование бандажей, изготовленных из современных марок сталей с повышенным содержанием хрома (3–5%), позволит существенно повысить износостойкость и долговечность составных валков.

Основная проблема, возникающая при изготовлении составных (бандажированных) валков,

заключается в обеспечении надежного соединения бандажа с несущей осью [1].

Специалистами ПАО «Уралмашзавод» разработаны оригинальные технические решения, позволяющие исключить круговое и осевое смещение бандажа относительно несущей оси и уменьшить растягивающие напряжения [2-9]. Основная идея предложенных решений заключается в создании эксцентрика на посадочных участках тел вращения (ось и бандаж). Эксцентрик формирует серповидный участок, который надежно фиксирует составные части соединения и препятствуют их смещению друг относительно друга, при этом не требуются детали крепления (рис. 1).

В 2016 г. ООО «ВИЗ-Сталь» обратилось к ПАО «Уралмашзавод» с просьбой восстановить работоспособность двух опорных валков 1400×1300 стана 1300 холодной прокатки (1300 ХП) с использованием инновационных разработок.

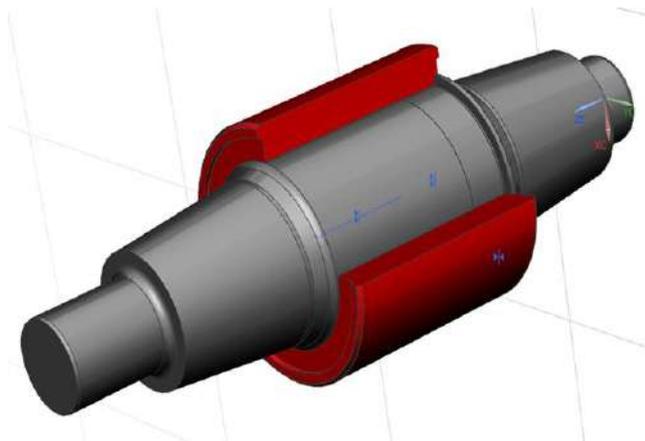


Рис. 1. Конструктивная схема составного валка

В качестве исходных заготовок для несущих осей составных валков использовались списанные цельнокованные валки (сталь 75Х2МФ), проработавшие на стане 1300 ХП в течение 2-х лет, а бандажи изготавливались из новых поковок (сталь 75Х3МФА).

Повышенное содержание хрома в валковых сталях позволяет помимо увеличения толщины закаленного слоя стабилизировать прочностные и эксплуатационные характеристики, повысить износостойкость и стойкость к аварийным ситуациям [10, 11]. Современный сортамент стана 1300 ХП ООО «ВИЗ-Сталь» включает холоднокатаные полосы из малопластичной трансформаторной анитропной стали с содержанием кремния до 4%. В процессе прокатки малопластичных трансформаторных сталей по ряду тех или иных причин на стане происходят порывы полосы, сопровождающиеся наварам и оковами рабочих валков, из-за чего травмируются работающие с ними в непосредственном контакте опорные валки.

В качестве примера можно привести положительный опыт эксплуатации прокатных валков 1300×2800 (изготовитель ПАО «Уралмашзавод») из марки стали 75Х3МФ1 на стане 2800 горячей прокатки (2800 ГП) ОАО «Уральская сталь». Неоднократные аварийные остановки, обусловленные обесточиванием стана в период его освоения, сопровождались длительным нахождением горячего раската в валках, что приводило к существенному разупрочнению закаленного слоя и, как следствие, к выкрошке и отслоениям. После снятия поврежденного слоя валки были вновь введены в эксплуатацию, при этом их эксплуатационная стойкость на оставшемся ресурсе активного (рабочего) слоя превысила более чем вдвое среднюю стойкость валков из традиционных сталей 75ХМФ, 60ХН и др.

Технические решения, заложенные в конструкцию составных валков для стана 1300 ХП, были проверены на физической модели [12].

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния валков [13, 14], выполненного с помощью программного комплекса «ANSIS», позволили определить и обосновать оптимальные конструктивные параметры несущей оси и бандажа (величина эксцентрика, натяг, соотношение длин и параметров посадочных поверхностей), а также оптимизировать технологию сборки (рис. 2).



Рис. 2. Операция сборки составного валка

Восстановленные опорные валки прошли все предусмотренные регламентом проверки сдаточные испытания и признаны годными (соответствующими требованиям чертежа и технической спецификации) [15].

Замечаний, касающихся точности выполнения геометрических размеров, уровня и разброса твердости по бочке опорных валков не было.

Перед установкой составных валков в стан была произведена подготовка непосредственно к эксплуатации, которая производилась на станке «Herkules» и включала придание заданной профилировки рабочей поверхности бочки валка, а также формирование скосов по краям.

Эксплуатация составных валков на стане 1300 ХП ООО «ВИЗ-Сталь» производилась в штатном режиме. В соответствии с технологической инструкцией оба составных валка были завалены парой в четвертую (по ходу прокатки) клеть, при этом межперевалочная кампания составила ~ 30 000 т.

После вывалки составных опорных валков из стана при визуальном осмотре рабочей поверхности бочки были зафиксированы мелкие надавы, отпечатки и порезы глубиной до 0,5 мм, однако грубых поверхностных дефектов, препятствующих дальнейшей их эксплуатации на стане, не обнаружено. Ультразвуковой контроль также не выявил подповерхностных дефектов.

Таким образом, составные валки ПАО «Уралмашзавод» показали высокую стойкость к аварийным ситуациям в условиях тяжелонагруженного стана 1300 ХП, а выбранная марка стали оправдала себя.

Заложенная в конструкции составных валков оригинальная сцепка бандажа и несущей оси также подтвердила свою надежность и работоспособность. Каких-либо смещений бандажа относительно несущей оси не обнаружено.

Оценка искажения профиля рабочей поверхности составных валков производилась с помощью пассаметра (рис. 3). Различие в диаметрах по краям бочки обоих валков не превышало 0,02 мм, что свидетельствует о равномерном износе их активного слоя.



Рис. 3. Измерение износа профиля составных валков

Измерения твердости бочек составных валков выполнены твердомером «Equotip 2», в единицах HS вдоль образующей с шагом 200 мм и аналогичным образом через 90° по направляющей. При этом разброс твердости вдоль бочки валков не превышал 3 HS.

После удаления всех поверхностных дефектов было произведено измерение твердости бочки валков. Фактический уровень твердости соответствовал требованиям чертежа и технической спецификации.

По мнению заказчика, оригинальные технические решения, заложенные в конструкцию и технологию сборки составных валков, позволили существенно улучшить основные технические ха-

рактеристики стана и качество выпускаемой продукции, при этом обеспечить возможность увеличения межперевалочной кампании за счет меньшего и равномерного износа рабочей поверхности бочки валков в процессе прокатки.

В настоящее время данные валки эксплуатируются в штатном режиме в соответствии с цеховой технологической инструкцией и рекомендациями специалистов ПАО «Уралмашзавод», соответствуют всем требованиям надежности, замечаний к их работе нет со стороны заказчика. Составные валки показали высокую износостойкость, а также стойкость к аварийным ситуациям (наварам, оковам и т. п.), нередко возникающим в условиях тяжелонагруженного стана.

Восстановление работоспособности списанных валков на основе метода бандажирования является экономически оправданным, выгодно как для производителя, так и потребителя. По существу, заказчик отдает в ремонт отработанный валок, т. е. списанный и не имеющий потребительской ценности, а получает – кондиционный, да еще с повышенными эксплуатационными характеристиками. За счет сквозного прокаливания бандажей обеспечивается равномерность распределения твердости по всему объему рабочего слоя валка, что снижает риск и вероятность появления дефектов несплошности металла типа выкрошки и отслоений.

Практически на каждом прокатном стане скопились «залежи» отработанных опорных валков, списанных по тем или иным причинам. В лучшем случае, когда валок безаварийно дорабатывает до скрапного (минимально допустимого) диаметра, он используется на 7–9%. Даже у современных высокопроизводительных станов, где применяются в основном высококачественные импортные валки ведущих мировых производителей, масса валка используется лишь на 10%.

В связи с тем, что шейки опорных валков вращаются в подшипниках жидкостного трения, где реализуется гидродинамический режим, то износ их посадочных поверхностей практически отсутствует. Концевые участки шеек также не травмируются, поскольку опорные валки, как правило, не приводные. Поэтому отдавать на переплавку и дальнейший передел среднелегированные (с содержанием легирующих элементов до 10%) валки, обладающие еще значительным ресурсом по усталостной долговечности, по меньшей мере, расточительно.

По разным оценкам, в зависимости от типа стана и конкретных условий прокатки, валки, которые предполагается использовать в качестве несущих осей для вновь восстановленных составных валков, могут быть повторно использованы

от 3-х до 9-ти раз (например, на универсально-балочном стане ОАО «ЕВРАЗ НТМК»). Таким образом, использование отработанных валков в качестве давальческого сырья для изготовления из них несущих осей составных (бандажированных) валков весьма эффективно и, прежде всего, по критерию ресурсосбережения.

При сравнении затрат на производство цельнокованого валка и аналогичного составного валка было установлено, что себестоимость изготовления составных валков с использованием списанных валков в качестве несущей оси не превышает 50 % от себестоимости цельнокованого валка. Такой эффект достигается за счет экономии на материалах, зарплате, технологических нуждах и общепроизводственных расходах и т. п.

Восстановление работоспособности списанных прокатных валков с использованием износоустойчивых бандажей позволит металлургическим предприятиям существенно повысить эффективность прокатного производства за счет снижения затрат на приобретение новых валков и повышения качества готового проката [16, 17].

Одним из основных преимуществ предложенной конструкции соединения составных частей прокатных валков является универсальность.

Свою эффективность данная конструкция показала при восстановлении работоспособности промышленного центробежного радиального вентилятора, изготовленного французской фирмой «Flakt Woods Group» и установленного в технологическом комплексе обжиговой машины №3 (ТКОМ №3) нового комплекса фабрики окомкования ПАО «Михайловский ГОК» (МГОК). ПАО «Уралмашзавод» выступило генеральным поставщиком технологического и вспомогательного оборудования для фабрики окомкования МГОК.

Для транспортировки воздуха и технологических газов в газоходной системе ТКОМ №3 используются дымососы с промышленными центробежными вентиляторами. В наиболее сложных условиях эксплуатации работает вентилятор дымососа №7, который является «горячим» дымососом, транспортирующим газ с температурой от +300 до +500°C (температура в рабочей зоне +550°C), при этом скорость его вращения может достигать 740 об/мин.

На вентиляторе возникли серьезные проблемы на начальном периоде работы обжиговой машины. Из-за интенсивного разогрева крыльчатки вентилятора стал ослабевать натяг между приводным валом и ступицей крыльчатки, в результате появились вибрации, которые регистрировались следящими системами и, в конечном счете, приводили к аварийной остановке вентилятора.

Анализ известных конструкций и способов соединений показал, что оптимальным вариантом, обеспечивающим жесткое крепление вала со ступицей крыльчатки и передачу крутящего момента без вибраций, является конструкция сцепки на основе эксцентрика с использованием натяга [18].

Результаты расчета напряженно-деформированного состояния составных частей соединения, выполненного с помощью программного комплекса «ANSIS», позволили промоделировать условия эксплуатации, выявить возможные причины выхода из строя вентилятора, определить оптимальную величину натяга при различных режимах работы вентилятора, обосновать конструктивные параметры посадочного участка вала и колеса с крыльчаткой, оптимизировать операцию сборки составных частей вентилятора.

Проектирование формы и выбор рационального соотношения размеров элементов посадочных поверхностей были выполнены таким образом, чтобы минимально изменить изначальную конструкцию вентилятора, не повредив при этом «ажурные» лопасти крыльчатки. В ходе проектирования были найдены оптимальные решения, которые позволили упростить конструкцию, повысить технологичность изготовления составных частей вентилятора и облегчить операцию их сборки. По разработанным чертежам были сначала отремонтированы, а затем собраны в единое целое составные части вентилятора (рис. 4).

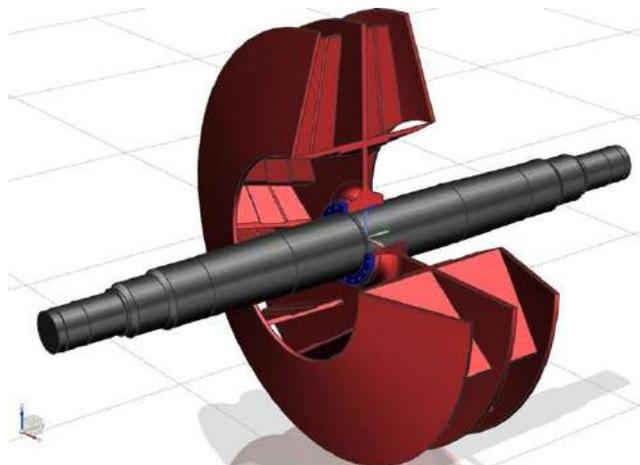


Рис. 4. Конструктивная схема соединения вала с колесом крыльчатки вентилятора

Сборка вентилятора осуществлена на специализированном участке термического цеха завода, предназначенном изначально для сборки составных валков (рис. 5).

В завершении ремонта выполнили статическую балансировку, чтобы исключить вибрации в процессе работы вентилятора на объекте.



Рис. 5. Нагрев колеса крыльчатки в камерной печи перед операцией сборки

Отремонтированный вентилятор был отправлен заказчику без срывов контрактных обязательств по качеству исполнения. Монтаж вентилятора и последующий запуск дымососа в эксплуатацию производился под непосредственным надзором специалистов ПАО «Уралмашзавод».

Для обеспечения надежной работы вентилятора и исключения аварийных ситуаций был разработан алгоритм автоматического ограничения скоростей разогрева и охлаждения газов, поступающих на вентилятор.

В настоящее время вентилятор стабильно работает на протяжении длительного периода (с сентября 2016 г.) в штатном режиме без каких-либо сбоев или отказов оборудования. Вентилятор соответствует всем требованиям надежности, замечаний к его работе со стороны работников комбината нет.

Благодаря своей универсальности разработанные варианты конструкций и принцип соединения целесообразны к использованию в мостовых кранах, шахтных подъемных машинах и другом оборудовании различных отраслей промышленности.

Одним из основных видов продукции, выпускаемых ПАО «Уралмашзавод», являются мостовые краны грузоподъемностью от 5 до 500 т, которые широко применяются в разных отраслях промышленности (металлургии, машиностроении и др.). Конструктивную схему, характерную для большинства выпускаемых кранов, можно рассмотреть на примере современных мостовых кранов для ООО «НОВАТЭК-Мурманск» (Мурманск) и ООО «Судостроительный комплекс «Звезда» (Владивосток).

Оба крана, имеющие подобные конструкции, предназначены для сборки металлоконструкций надводных модулей в море, способны осуществлять совместные операции (подъем, удержание, транспортировку, опускание) с другими кранами, а также поворот или переворачивание грузов на весу.

Механизм подъема мостовых кранов состоит из двух электродвигателей, редуктора, и двух ба-

рабанов (рис. 6). Соединение ступицы барабана с осью производится на основе шпоночного соединения, при этом для обеспечения свободного прохождения оси вдоль внутреннего пространства ступицы и создания требуемого натяга применяется газовый нагрев.



Рис. 6. Сборка мостового крана ООО «Судостроительный комплекс «Звезда»

Недостатки традиционных конструкций и технологии их сборки вполне очевидны: требуется высокая точность изготовления составных элементов соединения, что значительно снижает технологичность их изготовления и затрудняет операцию сборки; шпоночные канавки ослабляют сечение опорного вала и повышают вероятность усталостного разрушения; повышенная пожароопасность, вызванная необходимостью нагрева ступиц перед сборкой, которая, в свою очередь, ухудшает экологическую обстановку в цехе.

Поскольку современные краны работают в тяжелых условиях (высокие циклические и знакопеременные нагрузки), то требования, предъявляемые к качеству и надежности существующих соединений, постоянно ужесточаются.

По мнению специалистов ПАО «Уралмашзавод», данная проблема может быть успешно решена путем использования эксцентриситета в соединении оси со ступицей [18]. Предлагаемое соединение включает ось с ограничительным буртом и сопрягаемую с ней ступицу ответной формы, при этом посадочный участок выполнен из двух цилиндрических частей разного диаметра, продольные оси которых смещены в радиальном направлении с образованием эксцентриситета. Выступающий за контур вращения серповидный участок обеспечивает надежное соединение ступицы с осью и предотвращает их от скручивания даже при тяжелых и динамических нагрузках. Для улучшения экологической обстановки в цехе проектом предусмотрено использование вместо традиционного нагрева технологии криогенной обработки несущей оси, что помимо улучшения

условий монтажа и повышения формоустойчивости (стабилизация размеров) составных частей узла соединения позволит повысить её прочность и износостойкость.

В настоящее время ПАО «Уралмашзавод» активно осваивает изготовление шахтных подъемных машин (ШПМ) для ПАО «Гайский ГОК», ОАО «Сибирь-Полиметаллы», ООО «Башкирская медь» и др.

Поскольку ШПМ работают в реверсивном режиме и предназначены не только для подъема (и спуска) полезных ископаемых, оборудования и материалов, но и людей, то к ним предъявляются особые требования в отношении надежности и безопасности.

Принципиальная конструктивная схема ШПМ включает (рис.7): барабан канатоведущего шкива, который жестко крепится к коренному (главному) валу, подшипниковые опоры, зубчатые муфты, приводные валы и др. Привод барабана производится двумя электродвигателями, расположенными с обоих торцов приводных валов.



Рис. 7. Сборка ШПМ 5×8 для ПАО «Гайский ГОК»

По мнению специалистов ПАО «Уралмашзавод», узким местом в существующей конструкции ШПМ является принципиальная схема креплений коренного вала и приводных валов с втулками зубчатых муфт, которые осуществляются на основе лишь натяга, создаваемого при остывании втулок после их нагрева. Резкое торможение либо случайные ударные нагрузки не смогут гарантированно предотвратить аварийные ситуации, которые могут привести к трагическим последствиям. Для исключения подобных ситуаций предложено соединение втулок зубчатых муфт с коренными и приводными валами ШПМ осуществлять с использованием эксцентриситета. Предлагаемое соединение включает профилированные коренной и приводные валы, смежные участки которых выполнены с эксцентриситетом и сопрягаемую с ними по скользящей посадке втулку зубчатой муфты ответной формы. Данная

конструкция позволит обеспечить надежное и жесткое крепление составных частей соединения, исключая люфты, биения и т. п.

По традиционной технологии коренной вал изготавливают из поковки. Из-за значительного перепада в диаметрах смежных цилиндрических участков коренного вала существенно снижается технологичность его изготовления, при этом требуется специальная оснастка, удорожающая производство. Утяжка металла в процессековки может существенно исказить профиль выполняемых элементов вала. Для этого потребуется увеличить технологические припуски, что, соответственно, отразится на массе поковки и слитка и увеличит объем последующей механообработки.

С целью повышения технологичности изготовления коренных валов предложено изготавливать их не в цельнокованом, а в составном исполнении, при этом отдельно ковать несущие валы и бандажи для фланцев, к которым крепятся обечайки барабана (рис. 8). Посадка бандажей на вал производится с натягом. Для обеспечения надежности соединения также предложено использовать конструкцию с использованием эксцентриситета.

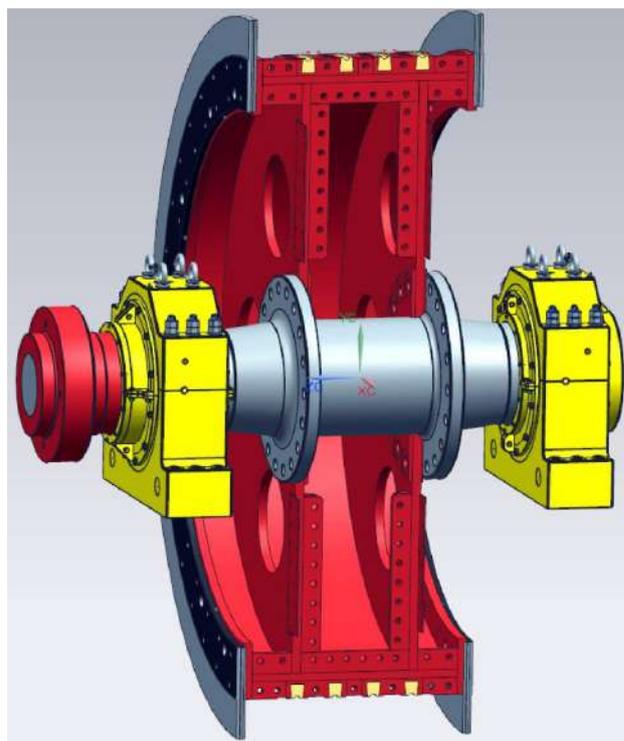


Рис. 8 Конструктивная схема соединения коренного вала с барабаном канатоведущего шкива ШПМ

**Заключение.** Реализованные на практике инновационные варианты соединения составных частей тел вращения показали свою высокую надежность и эффективность в условиях повышенных нагрузок. Принципиальная схема соединения на основе эксцентриситета целесообразна к

использованию при проектировании различного вида оборудования для передачи крутящего момента без вибраций, перегрузок и аварийных ситуаций.

#### Список литературы

1. Соколов П.Б. Эффективность использования бандажированных валков на прокатных станах // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 6. – С. 27-31.
2. Пат. 2310530 РФ. МПК В21В 02/33. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, Р. Я. Шарафудинов // 2007. Бюл. № 32.
3. Пат. 2402393 РФ. МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, Ю. Б. Хлопотунов // 2010. Бюл. № 30.
4. Пат. 2561618 РФ. МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, С.А. Червяков // 2015. Бюл. № 24.
5. Пат. 2579322 РФ. МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, О.В. Тихонова // 2016. Бюл. № 10.
6. Пат. 2592011 РФ. МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, О.В. Тихонова // 2016. Бюл. № 20.
7. Пат. 2598068 РФ. МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, О.В. Тихонова // 2016. Бюл. № 26.
8. Пат. 2643848 РФ, МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов, В.Л. Юрьев, Н.Ф. Хасанова // 2018. Бюл. № 4.
9. Пат. 2680121 РФ, МПК В21В 27/03. Составной прокатный валок / П. Б. Соколов // 2019. Бюл. № 5.
10. Соколов П. Б. Эксплуатация прокатных валков ОАО «Уралмашзавод» с содержанием хрома 3-5% // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 35 – 37.
11. Соколов П. Б., Варваров А.Ю. Эффективность использования прокатных валков ПАО «Уралмашзавод» с повышенным содержанием хрома // Тяжелое машиностроение. – 2016. – № 9. – С. 27-30.
12. Пат. на ПМ 187632 РФ. МПК В21В 27/03. Демонстрационная модель составного валка / П. Б. Соколов, А.В. Муравьева // 2019. Бюл. № 8.
13. Соколов П. Б., Недорезов И. В. Опыт восстановления работоспособности центробежного радиального вентилятора // Тяжелое машиностроение. – 2017. – № 3. – С. 31-33.
14. Соколов П. Б., Муравьева А. В. Опыт восстановления работоспособности тел вращения (на примере промышленного вентилятора и прокатных валков) // Труды XI конгресса прокатчиков. – Магнитогорск, 09-12 октября 2017 г. – Том II. – С. 309 – 321.
15. Соколов П. Б., Муравьева А. В. Восстановление работоспособности опорных валков стана 1300 холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь» // Тяжелое машиностроение. – 2017. – № 11-12. – С. 38 – 42.
16. Соколов П. Б., Муравьева А. В. Работоспособность бандажированных опорных валков в условиях стана 1300 холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь» // Тяжелое машиностроение. – 2018. – № 11-12. – С. 35-38.
17. Соколов П.Б., Муравьева А.В. Эффективность эксплуатации составных прокатных валков в условиях стана 1300 холодной прокатки ООО «ВИЗ-Сталь» // Сборник тезисов докладов 77-й международной конференции.– Магнитогорск: 22-26 апреля 2019. – Том 1. – С. 152.
18. Пат. на ПМ 171038 РФ. МПК В21В 27/03. Соединение приводного вала со ступицей / П. Б. Соколов // 2017. Бюл. № 14.

#### Сведения об авторах

**Соколов Петр Борисович** – канд. техн. наук, ведущий инженер, конструкторский отдел аглодоменного и шахтного оборудования Дирекции по конструкторским разработкам, ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. E-mail: P.Sokolov@uralmash.ru.

**Муравьева Анастасия Валериевна** – инженер-конструктор 2-й категории, конструкторский отдел аглодоменного и шахтного оборудования Дирекции по конструкторским разработкам, ПАО «Уралмашзавод», г. Екатеринбург. E-mail: A.Muraveva@uralmash.ru.

УДК 621.771

## РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАНОВКИ ЭШП ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЗАГОТОВОК РОЛИКОВ МНЛЗ

Вдовин К.Н., Ячиков М.И.

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

**Аннотация.** Одной из основных изнашиваемых частей в установке МНЛЗ является ролик, обеспечивающий работу машины без выпучивания сляба и плавного его перемещения к зоне порезки на мерные слябы. Показаны источники появления стружки из легированного металла и существующие методы ее утилизации с помощью ЭШП. Выбрана технология переплава спрессованной в брикеты стружки, из которых собирается электрод. Для определения электрических характеристик установки ЭШП электрода из стружки приняты ряд допущений и ограничений. Получили зависимость токов, протекающих через ЭШП и его боковую стенку, и соотношения этих токов от электропроводности твердого шлака (в долях от электропроводности расплавленного шлака). Проведен алгоритм расчета для оценки параметров теплового состояния и производительности установки ЭШП. Получены зависимости максимального массового расхода переплавляемого электрода и минимальное время переплава электрода длиной 4000 мм от напряжения в установке ЭШП.

**Ключевые слова:** электрошлаковый переплав, стальная брикетированная стружка, стальной ролик, переплавной электрод, квазистационарная модель теплового состояния.

### Введение

Конструкция всех существующих МНЛЗ включает в себя кристаллизатор и роликотное полотно, разделенное на секции. Изнашиваемой частью МНЛЗ, кроме кристаллизатора, являются стальные ролики. На ПАО «ММК» ролики первых секций изготавливают из стали 38Х2Н2МА, а ролики остальных секций из стали 25Х1МФ. Восстановление отработанных роликов на ММК обычно проводят либо электрошлаковым переплавом (ЭШП), выплавляя заготовки из отработанных роликов, либо наплавляют на наплавочной установке У1416. При вытачивании ролика из покупной заготовки или произведенной на ЭШП, образуется большое количество стружки, состоящей из легированных марок стали. Существует большая проблема утилизации этой стружки. Из опыта ПАО «ММК» наиболее эффективным является способ, состоящий в изготовлении из спрессованной стружки брикетов и их сваривание в виде электродов [1, 2].

При прессовании стружки в качестве металлической шихты для ЭШП ее необходимо очистить от масла, охлаждающей жидкости и посторонних примесей. Металлическая стружка по ее обработке проходит ряд этапов [3].

### Постановка задачи

Диаметр роликов, используемых в первой секции кристаллизатора МНЛЗ, составляет 140 мм, второй и последующих 200 мм, а в последних секциях – 300 мм. С учетом механической обработки диаметры получаемых заготовок должны быть соответственно 150, 215 и 320 мм, а их длина  $H_p=2500$  мм.

В условиях ПАО «ММК» переплавляемый электрод собирают из спрессованных брикетов цилиндрической формы длиной 120–140 мм и диаметром 120 мм. При этом плотность брикета не менее  $\gamma_{эф} \approx 5000$  кг/м<sup>3</sup>, а его масса 10–13 кг. Плотность металла переплавляемого электрода составляет 64% от плотности получаемой заготовки  $\gamma_m=7800$  кг/м<sup>3</sup>.

Последней операцией по изготовлению переплавляемого электрода является сварка цилиндрических брикетов четырьмя стальными полосками (накладками) металла толщиной 5 мм. Это приводит к тому, что поперечный размер электрода увеличивается примерно до  $d_s=130$  мм.

Таким образом, технология ЭШП электрода, изготовленного из спрессованной стружки легированной стали, предусматривает применение различных марок стали и получение заготовок разного диаметра. Использование разных кристаллизаторов для разных заготовок приведет к изменению электрических и тепловых характеристик установки ЭШП. Возникает проблема по

предварительной оценке производительности и энергетической эффективности получения заготовок разного диаметра в существующих условиях технологических ограничений установки ЭШП.

Целью работы является создание методики расчета по определению конструкционных, электрических и тепловых характеристик, а также производительности установки ЭШП электрода, изготовленного из прессованной металлической стружки.

### Расчет геометрии переплавляемого электрода из стружки высоколегированного металла

Рассмотрим методику для определения конструкционных и технологических параметров для получения заданной заготовки. В качестве примера рассмотрим выплавку заготовки ролика с наименьшим диаметром  $D_p=150$  мм из переплавляемого электрода  $d_3=130$  мм. Данная конструкция будет иметь наибольшее значение отношения  $d_3/D_p$  для получения заготовок для роликов МНЛЗ.

Определим необходимую длину  $h_3$  переплавляемого электрода. Будем пренебрегать относительно небольшими потерями на угар металла при ЭШП, которые составляют примерно 1%. По уравнению непрерывности получим

$$h_3 = \pi \frac{\gamma_m}{\gamma_{эфф}} \frac{D_p^2}{d_3^2} \frac{H_p}{4} \approx 4080 \text{ мм.}$$

Полученное значение  $h$  позволяет сказать, что габариты металлургического цеха позволяют получить требуемую заготовку переплавом только одного электрода.

### Определение электрических характеристик установки ЭШП электрода из стружки

При работе установки ЭШП в расплавленный шлак на глубину  $h_3$  погружен электрод диаметром  $d_3$ . Между электродом и нижним основанием, имеющим контакт с боковыми стенками, прикладывают напряжение  $U_0$  от источника переменного тока промышленной частоты.

Нижний торец электрода, контактируя с нагретым жидким шлаком, оплавляется, и капли металла образуют жидкую ванну. Цилиндрический медный кристаллизатор охлаждают водой и формируют из расплава слиток, который остается на поддоне, а кристаллизатор движется вверх с постоянной скоростью формирования слитка  $v$ . Верхний электрод также является подвижным и продвигается по мере оплавления навстречу кристаллизатору со скоростью  $v_3$  относительно неподвижного слитка.

Математическая модель электрических характеристик ЭШП включает в себя для данной конструкции ЭШП определение в расплаве шлака полей электрических потенциалов  $U(r, z)$ , плотности тока

$J(r, z)$ , а также полного тока  $I$ , проходящего через установку ЭШП при заданном напряжении  $U_0$ .

При определении электрических характеристик использовался ряд допущений и ограничений [5, 6].

Выберем цилиндрическую систему координат, причем ось  $Oz$  связана с осью ванны и центром координат, расположенным на поверхности шлаковой ванны. Распределение электрического потенциала  $U$  (с учетом осевой симметрии и 4 допущения) описывается двумерным дифференциальным уравнением Лапласа:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

где  $r, z$  – оси в цилиндрической системе координат.

Уравнение (1) дополним граничными условиями, отражающими характер протекания тока от электрода до нижнего основания и боковых стенок. Исходя из осевой симметрии, составим их для половины рабочего пространства печи, т.е. для области  $ABCDEA$  (рис. 1), включающей в себя боковую поверхность кристаллизатора, электрод, нижнее основание и ось печи.

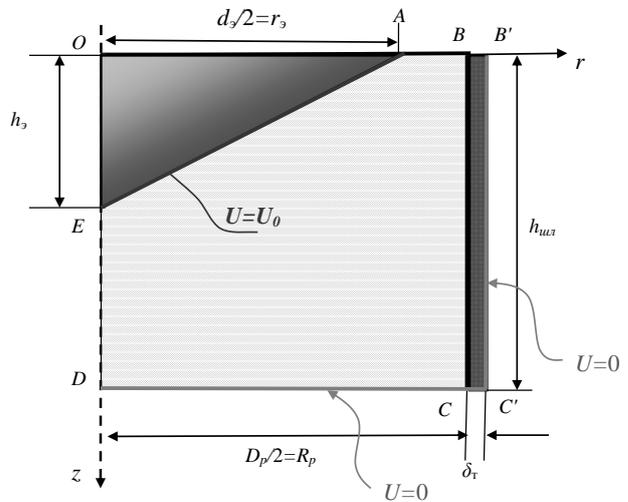


Рис. 1. Граничные условия при решении краевой задачи по определению электрических характеристик в установке ЭШП

На свободной поверхности расплава шлака  $AB$  примем условие непротекания тока (условие Неймана)  $\left. \frac{\partial U}{\partial z} \right|_{AB} = 0$ . На оси ванны  $DE$  из свойств осевой симметрии имеем  $\left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{DE} = 0$ . Потенциал вдоль достаточно хорошо проводящих поверхностей практически не меняется (1 допущение), по-

этому на границах  $EA$  (поверхность электрода, контактирующая со шлаком),  $CD$  (поверхность жидкого металла) и  $C'B'$  (боковая поверхность кристаллизатора) принимаем условие Дирихле:  $U|_{EA} = U_0, U|_{CD} = 0, U|_{C'B'} = 0$ .

На границе кристаллизатора  $BC$  имеем условие непрерывности электрического тока, проходящего через затвердевающий слой шлака (гарнисажа)  $\sigma_{\text{шл}} \left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{BC} = \sigma_{\text{т}} \left. \frac{\partial U}{\partial r} \right|_{BC}$ .

Зная  $U(r, z)$ , можно определить значения проекции напряженности электрического поля (как градиент потенциала):  $E_r = -\frac{\partial U}{\partial r}, E_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$ , из закона Ома получить вектор плотности тока  $\vec{J} = \sigma_{\text{шл}} \cdot \vec{E}$  и его проекции  $J_r = \sigma_{\text{шл}} E_r, J_z = \sigma_{\text{шл}} E_z$ . Полный ток через установку ЭШП определим как интеграл по поверхности  $I = \int_{S_3} J(r, z) \cdot dS$ , где  $S_3 = \pi \cdot r_3 \sqrt{r_3^2 + h_3^2}$  – площадь поверхности электрода, контактирующая с жидким шлаком (боковая поверхность конуса),  $dS = 2\pi r dz$ . С учетом того, что уравнение образующей конусной поверхности  $EA$  можно записать как  $z(r) = h_3(1 - r/r_3)$ , тогда полный ток через установку ЭШП

$$I = -2 \cdot \pi \cdot \frac{h_3}{r_3} \int_0^{r_3} r \cdot J(r, z(r)) dr, \quad (2)$$

где  $J(r, z) = \sqrt{J_r^2 + J_z^2}$  – модуль вектора плотности тока, причем он направлен по нормали к площадке  $EA$ . Определим также ток, проходящий через боковую стенку кристаллизатора  $BC$ , как

$$I_{\text{бок}} = 2\pi R_p \int_0^{h_{\text{шл}}} J_r(R_p, z) dz. \quad (3)$$

Задаем проводимость твердой корочки шлака  $\sigma_{\text{т}} = \eta_{\text{шл}} \sigma_{\text{шл}}$ , где  $\eta_{\text{шл}} = 0,001-0,1$  – доля электропроводности твердого шлака от электропроводности расплавленного шлака при заданной ее толщине  $\delta_{\text{шл}}$ . Меняя  $\eta_{\text{шл}}$  методом последовательных приближений, добиваемся заданной доли тока, протекающего через боковые стенки кристаллизатора  $\eta_{\text{бок}} = I_{\text{бок}}/I$ .

Проведено компьютерное моделирование при следующих исходных данных:  $h_{\text{шл}} = 150$  мм,  $h_3 = 75$  мм. Была выбрана толщина твердой шлаковой корочки на поверхности кристаллизатора, равной  $\delta_{\text{шл}} = 4$  мм, напряжение на ЭШП  $U_0 = 50$  В.

В качестве шлака использовался шлак АНФ-32 ( $\text{CaF}_2 = 87\%, \text{CaO} = 2\%, \text{Al}_2\text{O}_3 = 2\%$ ) при температуре  $t_{\text{шл}} = 1550^\circ\text{C}$ , его электропроводность от температуры была взята из работы [4].

На рис. 2 показаны результаты компьютерного моделирования: как зависят токи, протекающие через ЭШП и его боковую стенку, от усредненной электропроводности затвердевающей корочки шлака, образующейся на боковых стенках кристаллизатора. Из рис. 2, б видно, что ток через боковую стенку при увеличении электропроводности шлака не превышает 0,8 от общего тока через ЭШП. Необходимая доля тока  $\eta_{\text{бок}} = I_{\text{бок}}/I = 0,3$  имеет место, когда электропроводность твердого шлака составляет примерно  $\eta_{\sigma} = 0,6\%$  от проводимости расплавленного шлака. Эта величина будет зависеть от выбранной средней толщины корочки шлака, температуры и свойств самого шлака.

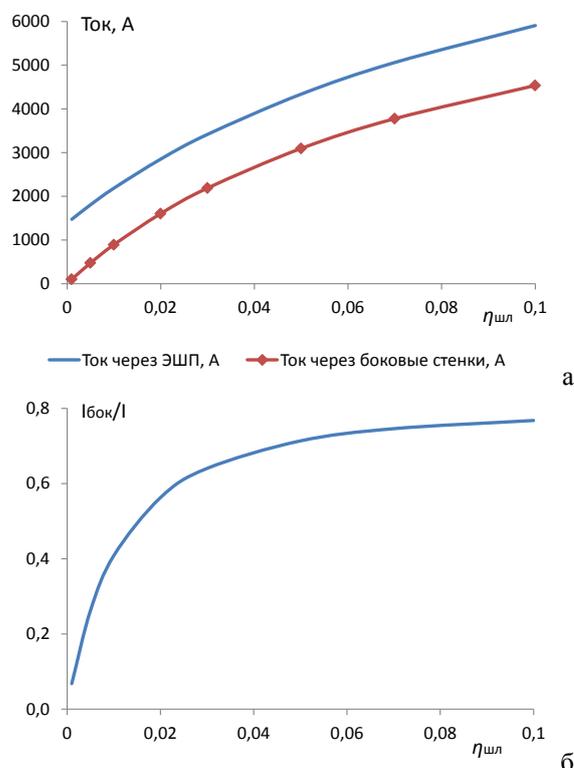


Рис. 2. Зависимость токов, протекающих через ЭШП и его боковую стенку (а), и соотношения этих токов (б) от электропроводности твердого шлака (в долях от электропроводности расплавленного шлака)

### Оценка параметров теплового состояния и производительности установки ЭШП

В работах [5, 6] рассмотрена оценка производительности установки ЭШП стали 25Х1МФ с нерасходуемым электродом на основе теплового баланса. Показано, что производительность установки ЭШП определяется прежде всего током

$I_{\text{ЭШП}}$ , который, в свою очередь, зависит от действующего напряжения  $U_0$  и величин  $d_3/D_p$ ,  $h_3/h_{\text{шл}}$ .

При оценке параметров на основе теплового баланса печи ЭШП с переплавляемым электродом из пресованной стружки в области шлаковой ванны был принят ряд допущений и ограничений:

1. Тепловой режим работы установки ЭШП – квазистационарный.

2. Пренебрегаем уносом тепла с отходящими из печи ЭШП газами и потерями в окружающую среду с боковой поверхности переплавляемого электрода.

3. Температура жидкого шлака во всем его объеме постоянна из-за интенсивного его электромагнитного перемешивания. Считаем, что капли расплавленного металла нагреваются до температуры шлака.

При определении мощности тепловыделения при прохождении тока по шлаковой ванне основной проблемой является задание средней температуры жидкого шлака. Суммарное тепловыделение в шлаковой ванне можно определить на основе закона Джоуля–Ленца:

$$Q = U_0 \cdot I. \quad (4)$$

В установившемся (квазистационарном) режиме тепло, выделяющееся при прохождении электрического тока в шлаковой ванне при постоянной температуре шлакового расплава, расходуется на нагрев и плавление электрода  $Q_m$  и на нагрев охлаждающей воды в кристаллизаторе  $Q_{кр}$ . Исходя из этого, тепловой баланс в шлаковой ванне можно записать как

$$Q = Q_m + Q_{кр}. \quad (5)$$

Тепло, идущее на плавление и нагрев металла до температуры шлака,

$$Q_m = G \left[ c_t (t_{пл} - \bar{T}) + L + c_{ж} (t_{шл} - t_{пл}) \right], \quad (6)$$

где  $c_t$ ,  $c_{ж}$  – удельная теплоемкость твердой и жидкой фазы металла соответственно;  $t_{пл} = t_c$  – температура плавления металла, которую выбираем как температуру солидуса;  $\bar{T}$  – средняя температура переплавляемого электрода в квазистационарном режиме;  $L$  – удельная теплота плавления.

Тепловые потери в кристаллизатор, контактирующий с жидким шлаком

$$Q_{пот} = h_{шл} k \cdot (t_{шл\_пл} - t_b), \quad (7)$$

где  $t_{шл\_пл}$ ,  $t_b$  – температура плавления шлака и охлаждающей воды соответственно.

Коэффициент теплопередачи через кристаллизатор  $k$  определяют как величину, обратную сумме термических сопротивлений гарнисажной пленки, медной стенки кристаллизатора и теплоотдачи к охлаждающей воде [7]:

$$k = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_{шл}} \ln \left( \frac{D_p}{D_p - 2\delta_k} \right) + \frac{1}{2\lambda_{ст}} \ln \left( \frac{D_p + 2\delta_{ст.р}}{D_p} \right) + \frac{1}{\alpha_b (D_p + 2\delta_{ст.р})}}, \quad (8)$$

где  $\delta_{ст.р}$  – толщина медной стенки изложницы кристаллизатора;  $\alpha_b$  – коэффициент теплоотдачи к воде;  $\lambda_{шл}$  – коэффициент теплопроводности шлака вблизи охлаждающей медной стенки.

Из уравнений (4) – (8) можно определить максимальную скорость плавления электрода в печи ЭШП, т.е. массовый расход переплавляемого слитка, кг/с

$$G = \frac{Q - Q_{кр}}{\left[ c_t (t_{пл} - t_0) + L + c_{ж} (t_{шл} - t_{пл}) \right]}.$$

Зная его из материального баланса, можно оценить максимальную скорость вытягивания (роста) цилиндрического готового слитка, м/мин:

$$v = 60 \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot D_p^2 \cdot \gamma_m}.$$

Скорость перемещения электрода в стационарном режиме плавки, связанная с его подачей и плавлением, м/мин,  $v_3 = 60 \frac{4 \cdot G}{\pi \cdot d_3^2 \cdot \gamma_{эф}}$ . Минималь-

ное время плавки в минутах можно оценить как  $\tau_{мин} = h_3 / v_3$ . Проведено компьютерное моделирование теплового состояния ЭШП при  $\delta_{шл} = 4$  мм;  $h_3 = 150$  мм,  $\delta_{ст.р} = 30$  мм,  $\eta_{\sigma} = 1,5\%$ . Использовался шлак АНФ-32 при температуре  $t_{шл} = 1550^{\circ}\text{C}$ ,  $\lambda_{шл} = 2$  Вт/(м К).

На рис. 3, а показано, как меняется массовый расход переплавляемого электрода, а на рис. 3, б показана зависимость минимального времени переплава электрода в зависимости от приложенного напряжения. Обычно с увеличением диаметра переплавляемого электрода или увеличение приложенного напряжения приводит к увеличению тока через шлаковую ванну ЭШП, повышая производительность печи. В нашем случае увеличивается диаметр получаемого слитка, однако это тоже приводит в данной конструкции к увеличению тока, а значит, к возрастанию производительности установки.

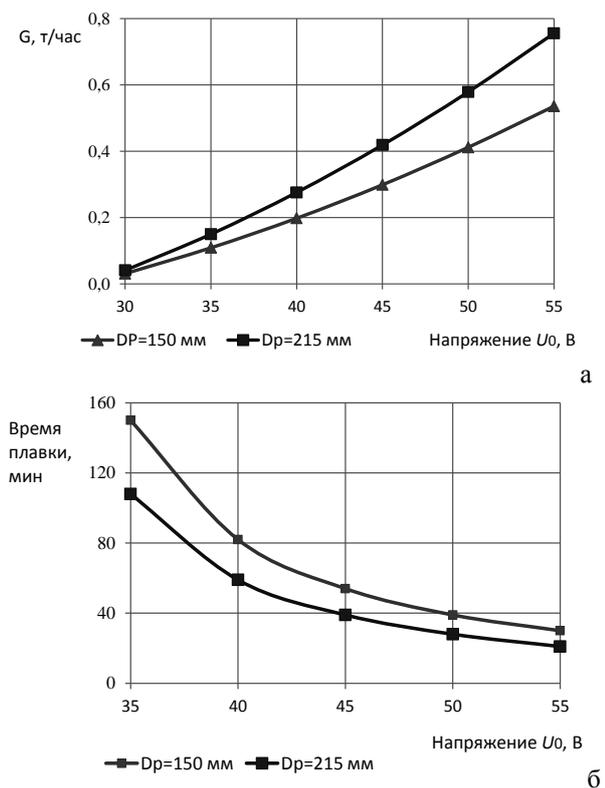


Рис. 3. Максимальный массовый расход переплавляемого электрода (а) и минимальное время переплава электрода  $h_3 = 4000$  мм (б) в зависимости от напряжения на установке ЭШП

### Выводы по работе

1. Предложена методика для расчета токов, протекающих через печь ЭШП, через поддон установки ЭШП и ее боковую стенку в зависимости от диаметра переплавляемого электрода и получаемой заготовки при разных приложенных напряжениях между электродом и корпусом печи.
2. Предложена методика расчета производительности установки ЭШП, скорости подачи пе-

реплавляемого и вытягиваемого слитка в зависимости от геометрических и технологических параметров.

3. Показано, что производительность установки ЭШП определяется током, который зависит от действующего напряжения и отношения диаметра переплавляемого электрода к диаметру получаемого слитка, а также отношения глубины погружения электрода в шлак к высоте шлаковой ванны.

### Список литературы

1. Переплав стружки стали 25Х1МФ методом ЭШП / Вдовин К.Н., Юсин А.Н., Позин А.Е. и др. // Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XVI Междунар. конф. 2 ч. / под ред. В.Е. Рощина – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 112–116.
2. Кочкин С.В., Семин А.Е. Переработка металлической стружки с применением электрошлаковых технологий // Современные проблемы электрометаллургии стали: материалы XVI Междунар. конф. 2 ч. / под ред. В.Е. Рощина. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 108–112.
3. Алексеев А.В. Сбор и переработка металлической стружки. – М.: Машиностроение, 1980. – 120 с.
4. Дакурт У.Э., Хойл Дж. Электрошлаковый переплав. – М.: Metallurgia, 1973. – 192 с.
5. Вдовин К.Н., Ячиков И.М., Нефедьев А.А. Оценка производительности установки ЭШП стали 25Х1МФ с нерасходуемым электродом // Сталь. – №3. – 2017. – С. 26–29.
6. Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Нефедьев А.А. Утилизация медной стружки методом электрошлакового переплава // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2009. – № 8. – С. 69.
7. Непрерывная разливка стали. Расчеты медных кристаллизаторов: монография / Ячиков И.М., Вдовин К.Н., Точилкин В.В., Ларина Т.П. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. 2014. - 190 с.

### Сведения об авторах

**Вдовин Константин Николаевич** – д-р техн. наук, проф. каф. литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: vdovin@magtu.ru

**Ячиков Матвей Игоревич** – асп. каф. литейного производства и материаловедения, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mat-jachikov@yandex.ru

УДК 669.337.111

## К ВЫБОРУ ВЛАЖНОСТИ АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ И СОДЕРЖАНИЯ В НЕЙ УГЛЕРОДА ПРИ СПЕКАНИИ ТИТАНОМАГНЕТИТОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Гущин Д.Н., Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Сысоев В.И., Малиханов Ю.С.

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

**Аннотация.** Выявлено действие влажности шихты и содержания в ней углерода на производительность установки, выход годного и ряд показателей качества агломерата в интервале основности от 1,0 до 1,4 при использовании титаномагнетитового концентрата, содержащего 58,2% Fe, 1,62% TiO<sub>2</sub> и 0,24% V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Исследовали содержание углерода в шихте от 3,0 до 4,5 %, содержание влаги в ней от 8 до 10 %. Спекание агломерата с рациональными технологическими параметрами обеспечивало следующие показатели его качества: содержание железа – от 53,3 до 55,2 %; сопротивление удару после испытания по ГОСТ 15137 от 69,5 до 70,9 %; разрушение – от 24,8 до 26,0 %; истирание – от 3,1 до 5,1 %. Выход годного агломерата составлял 75,3–82,1 % при удельной производительности 1,020–1,244 т/(м<sup>2</sup>·ч).

**Ключевые слова:** титаномагнетитовый концентрат, агломерат, влажность аглошихты, углерод в аглошихте, прочность агломерата, истираемость агломерата, удельная производительность аглоустановки.

### Введение

Основная часть разведанных запасов железных руд Урала (80–90 %) представлена титаномагнетитами, общие (балансовые и прогнозные) запасы которых превышают 25–30 млрд т [1]. Истощение месторождений, пригодных к использованию по ранее разработанным технологиям [2–6], приводит к необходимости решения проблем переработки титаномагнетитов [7–11]. Месторождения вытянулись вдоль юго-восточного склона Уральского хребта. Характерные особенности их: сосредоточенность большинства запасов в крупных залежах, поверхностное, но крутопадающее расположение рудных тел, низкое содержание серы, наличие ценных компонентов. Большинство руд являются ванадийсодержащими. Имеются разновидности низкотитанистых, средне и высокотитанистых богатых и бедных руд, сплошных и вкрапленных с содержанием TiO<sub>2</sub> от 1 до 14 %. Известна Качканарская группа месторождений, включающая Гусевогорское, собственно Качканарское и Волковское. В группу месторождений Южного Урала входят Медведёвское, Копанское и Сураямское. Они обычно содержат 13–16% общего железа, но в богатых рудах превышает 30 % [12]. Рудные минералы представлены магнетитом, ильменитом, гематитом, рутилом и незначительным количеством гидрооксидов железа и сульфидов (пирит, халькопирит, пирротин).

Существенное влияние на ценность титаномагнетитовых руд оказывает содержание в них

ванадия. Ванадий является одним из наиболее ценных легирующих элементов. Так, содержание в качканарских рудах 0,13–0,14% ванадия обусловливает удешевление производства стали за счет получения попутной продукции, такой как техническая окись ванадия и феррованадий. Технологическая схема, применяемая на Качканарском ГОКе – крупнейшем в России, делает рентабельным переработку титаномагнетитов при объемах производства свыше 10 млн т концентрата в год. Таким образом, использование рациональной схемы комплексной переработки титаномагнетитов Урала позволит получать в значительных объемах титанистый железованадиевый рудный концентрат [13]. В связи с этим актуальным представляется исследование влияния различных факторов на показатели агломерации титаномагнетитовых концентратов Урала.

### Методы и материалы

Для спеканий использовали концентрат, полученный в МГТУ им. Г.И. Носова обогащением исходной титаномагнетитовой руды. Химический состав концентрата представлен в табл. 1. Концентрат имел повышенное содержание тонкой фракции (47,11% фракции <0,05 мм) в соответствии с результатами гранулометрического анализа (табл. 2).

Опытные спекания проводили на установке, представленной на рис. 1. Установка включает спекательную чашу, соединенную с вакуум-насосом. Подготовленную окомкованную шихту загружали на постель из готового агломерата. В ходе опыта измеряли температуру и разрежение в вакуум-камере, количество образующихся аглогазов.

Таблица 1

Химический состав компонентов агломерационной шихты

Номер пробы	Результаты измерений, %										
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ппп*
Концентрат	8,46	0,23	58,2		2,21	3,35	1,62	0,04	0,24	0,28	
Известняк	0,88	0,3	-	0,29	51,65	3,67	-	-	-	-	43,1

\* – потери при прокаливании

Таблица 2

Гранулометрический состав железорудного концентрата

Классы крупности	Выход, %
+0,1	14,54
0,1-0,071	27,52
0,071-0,063	2,12
0,063-0,05	8,71
-0,05	47,11
Всего	100

Таблица 3

Показатели технического анализа кокса, %

A <sup>d</sup>	V <sup>dat</sup>	W <sup>t</sup>	C	S
14,1	1,8	7,5	82,5	0,55

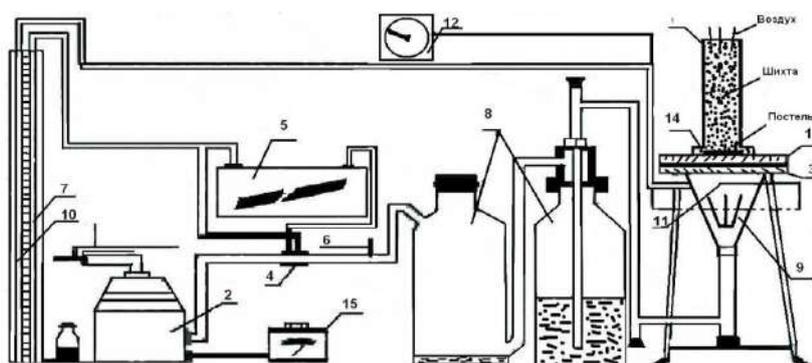


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1 – спекательная чаша; 2 – вакуум-насос; 3 – решетка; 4 – перепад давления на шайбе; 5 – тягонапоромер; 6 – ртутный термометр; 7 – водяной манометр; 8 – стеклянные бутылки; 9 – вакуум-камера; 10 – водяной манометр; 11 – хромель-алюмелевая термопара; 12 – потенциометр; 13 – верхний фланец вакуум-камеры; 14 – влажный асбест; 15 – автотрансформатор

### Результаты и обсуждение

Параметры агломерационного процесса и показатели холодной прочности агломерата по результатам спеканий титаномагнетитового концентрата приведены в табл. 4.

Повышение содержания углерода в шихте от 3,0 до 4,5% в среднем по всем опытам увеличило выход годного агломерата по классу +5 мм на 13,4% и удельную производительность по тому же классу на 0,324 т/(м<sup>2</sup>·ч). Повышение газопроницаемости сырой шихты соответствовало уменьшению потерь напора просасываемого газа через слой на 0,253 кПа. Снижение потерь напора газа в

момент начала зажигания составило 0,464 кПа, в момент окончания спекания 0,778 кПа. Увеличение содержания углерода в шихте от 3,0 до 4,5% повышало максимальную температуру в вакуум-камере на 209 °С и сопровождалось ростом прочностных характеристик агломерата. Сопротивление годного агломерата удару (+5 мм) в холодном состоянии увеличилось на 12,5 % абс. при уменьшении разрушения годного агломерата (0,5-5 мм) на 8,8 % абс. и истирания годного агломерата (0-0,5 мм) на 2,89 % абс.

Для различных условий агломерационного процесса и качества агломерата оптимальная влажность шихты была различной и находилась в

интервале 8-9%. При содержании углерода в шихте на уровне 4,5% при основности 1,0-1,4 наиболее высокой удельной производительности при максимальном выходе годного агломерата соответствовала оптимальная влажность 9% (рис. 2). При влажности шихты 9%, содержании углерода 4,5% и основностях 1,0; 1,2 и 1,4 средняя удельная производительность соответственно составляла 1,063, 1,206 и 1,244 т/(м<sup>2</sup>·ч), что в среднем на 17,7% больше, чем при спекании шихты влажностью 8% и на 35,8% больше, чем при спекании шихты влажностью 10%.

При влажности шихты 9% и содержании углерода 4,5% достигались максимальные выходы годного агломерата. В среднем для основностей 1,0; 1,2 и 1,4 выход годного составлял 79,95%. Он был выше, чем при влажностях 8 и 10%, соответственно на 5,8 и 11,5% отн. При этом увеличение влажности шихты с 8 до 9% сопровождалось повышением сопротивления годного агломерата удару (+5 мм) от 66,0 до 69,5 % при уменьшении разрушения (0,5-5 мм) от 29,2 до 26,2 % и (0-0,5 мм) от 4,72 до 4,22 %.

Таблица 4

Результаты опытных спеканий титаномагнетитового концентрата

Параметры агломерации			Выход годного по классу +5 мм, %	Удельная производительность по классу +5 мм, т/(м <sup>2</sup> ·ч)	Параметры холодной прочности годного агломерата (испытание в барабане)			Скорость спекания, мм/мин	Газопроницаемость сырой шихты по потерям напора газа, кПа	Газопроницаемость спекаемого слоя в момент зажигания, кПа	Газопроницаемость в момент окончания спекания, кПа	Максимальная температура в вакуум-камере, °С
W, %	C, %	Основность			Сопротивление удару (содержание фр. +5 мм), %	Разрушение (содержание фр. 0,5-5 мм), %	Истирание (содержание фр. -0,5 мм), %					
8	3	1	60	0,655	51,4	38,6	10,0	13,8	4,800	5,300	3,600	420
9	3	1	60,9	0,611	51,2	39,0	9,8	13,6	4,300	6,000	4,500	300
10	3	1	57,8	0,485	62,2	27,4	10,4	10,4	1,800	4,000	4,800	340
8	3,75	1	61,1	0,819	67,0	24,9	8,1	16,9	4,800	5,300	3,400	530
9	3,75	1	63,1	0,790	58,3	34,5	7,2	16,9	3,300	5,400	2,900	420
10	3,75	1	56,8	0,499	67,2	26,1	6,4	9,8	2,400	3,000	4,200	370
8	4,5	1	75,5	0,961	66,4	28,5	5,0	17,65	4,750	5,375	3,050	520
9	4,5	1	77,25	1,020	68,1	26,6	5,1	15,95	2,775	3,850	3,450	680
10	4,5	1	72,8	0,856	66,9	26,4	6,7	14,4	2,100	2,700	3,000	680
8	3	1,2	64,7	0,828	55,8	38,1	6,1	17,0	4,400	4,900	2,800	500
9	3	1,2	60,1	0,590	54,6	36,9	9,5	12,8	3,300	4,300	4,000	430
10	3	1,2	62,2	0,731	65,1	27,6	7,3	14,5	1,700	2,900	3,000	580
8	3,75	1,2	59,8	0,644	48,4	40,6	11,0	14,9	5,800	7,100	4,400	450
9	3,75	1,2	65,2	0,848	65,4	29,7	4,9	17,9	3,900	4,700	2,800	550
10	3,75	1,2	68,8	0,839	65,8	28,7	5,5	15,0	2,400	3,100	2,500	600
8	4,5	1,2	73,15	0,937	63,3	31,5	5,3	17,25	4,450	5,650	3,450	505
9	4,5	1,2	82,1	1,206	69,5	25,9	4,5	17,9	3,500	4,800	2,400	620
10	4,5	1,2	68,3	0,620	77,6	20,1	10,3	11,3	1,900	2,200	3,700	460
8	3	1,4	65,4	0,798	60,2	33,2	6,6	14,9	4,600	4,700	2,900	500
9	3	1,4	62,4	0,552	45,8	44,2	10,0	15,4	4,100	5,550	3,800	310
10	3	1,4	63,4	0,323	58,6	32,6	8,9	8,95	2,350	3,300	4,750	265
8	3,75	1,4	67,6	0,800	61,1	31,6	7,4	16,8	5,700	6,900	2,600	520
9	3,75	1,4	60,8	0,715	57,2	34,4	8,4	15,9	4,050	5,300	3,100	520
10	3,75	1,4	49,2	0,370	61,7	28,9	9,5	10,7	2,175	4,750	4,650	390
8	4,5	1,4	77,1	0,934	68,4	27,7	3,9	19,4	4,800	6,100	2,700	540
9	4,5	1,4	80,5	1,244	70,9	26,0	3,1	20,0	3,000	3,700	2,400	750
10	4,5	1,4	71	0,712	66,0	26,0	8,0	13,7	1,800	3,300	1,500	620

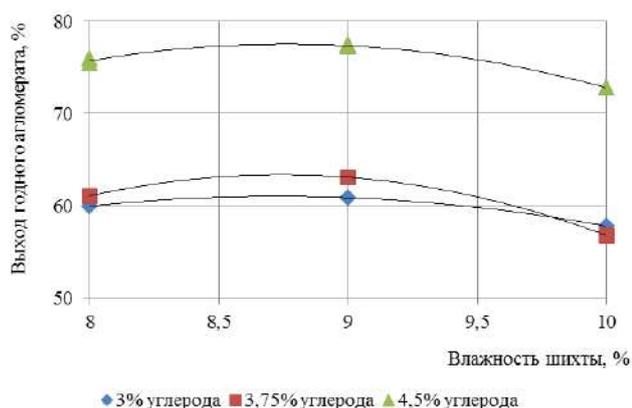


Рис. 2. Выход годного агломерата основностью 1,0 в зависимости от содержания углерода в шихте и влажности

Повышение холодной прочности агломерата выявлением оптимальных уровней содержаний влаги и углерода в шихте имеет наибольшее значение при работе доменной печи в условиях верхней определяющей зоны по газодинамике процесса. Уменьшение класса 0,5-5 мм агломерата способствует образованию в доменной печи менее плотной и более газопроницаемой структуры столба плавильных материалов.

Увеличение содержания влаги в шихте от 9 до 10% не обеспечивало увеличение прочности по показателю сопротивления годного агломерата удару при уменьшении разрушения годного агломерата (0,5-5 мм) от 25,6 до 24,2% и увеличении истирания годного агломерата от 4,22 до 8,33%.

При влажности шихты 10% существенно возросла продолжительность спекания. Повышение её с 8 и 9 до 10% сопровождалось увеличением продолжительности спекания соответственно от 24,4 и 23,6 до 28,7 мин.

В результате спеканий аглошихты на основе титаномагнетитового концентрата с содержанием углерода 4,5% и влаги 9% при основностях 1; 1,2;

1,4 получен агломерат химического состава, приведенного в табл. 5.

**Выводы**

В результате проведенного исследования установлено, что оптимальная влажность агломерационной шихты, включающей опытную разновидность титаномагнетитового концентрата, известняка, коксик и возврат, при изменении основности в пределах от 1,0 до 1,4 составляет 9%.

При содержании углерода 4,5% в агломерационной шихте, ее влажности 9% и основности, равной 1,0, получены следующие результаты: удельная производительность (по классу + 5 мм), – 1,020 т/м<sup>2</sup>·ч; выход годного (по классу +5 мм) – 75,3%; показатели качества агломерата по прочности, %: сопротивление годного агломерата удару (+5 мм) – 70,2; разрушение годного агломерата (0,5-5 мм) – 24,8; истирание годного агломерата (0-0,5 мм) – 5,1.

При содержании углерода 4,5% в агломерационной шихте, ее влажности 9% и основности, равной 1,2, получены следующие результаты: удельная производительность (по классу + 5 мм), – 1,206 т/м<sup>2</sup>·ч; выход годного (по классу +5 мм) – 82,1%; показатели качества агломерата по прочности, %: сопротивление годного агломерата удару (+5 мм) – 69,5; разрушение годного агломерата (0,5-5 мм) – 25,9; истирание годного агломерата (0-0,5 мм) – 4,5.

При содержании углерода 4,5% в агломерационной шихте, ее влажности 9% и основности, равной 1,4, получены следующие результаты: удельная производительность (по классу + 5 мм), – 1,244 т/м<sup>2</sup>·ч; выход годного (по классу +5 мм) – 80,5%; показатели качества агломерата по прочности, %: сопротивление годного агломерата удару (+5 мм) – 70,9; разрушение годного агломерата (0,5-5 мм) – 26,0; истирание годного агломерата (0-0,5 мм) – 3,1.

Таблица 5

Химический состав агломерата, полученного при оптимальном содержании углерода в шихте 4,5% и её влажности 9%

Основность агломерата	Результаты измерений, %									
	Fe <sub>общ</sub>	CaO	SiO <sub>2</sub>	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MnO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZnO
1,0	55,2	8,64	8,64	3,16	0,22	1,53	0,04	0,23	0,27	0,01
1,2	54,2	10,23	8,53	3,11	0,21	1,50	0,04	0,22	0,26	0,01
1,4	53,3	11,80	8,43	3,06	0,21	1,48	0,04	0,22	0,26	0,01

### Список литературы

1. Дерябин Ю.А. Физико-химические исследования и разработка новых технологических вариантов комплексной пирометаллургической переработки ванадийсодержащих титаномагнетитов: дисс. ... докт. техн. наук : 05.16.02. – Екатеринбург, 2003. – 474 с.
2. Фролов Ю.А. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 1. Подготовка компонентов агломерационной шихты к спеканию // Черная металлургия. – 2017. – № 4 (1408). – С. 33-41.
3. Состояние и перспективы развития технологии производства агломерата. Часть 13. Технологические и теплотехнические принципы оптимизации АСУТП спекания агломерационной шихты / Ю.А. Фролов, А.А. Марков, А.А. Бородай, С.В. Репченко // Черная металлургия. – 2018. – № 4 (1420). – С. 45-57.
4. Повышение содержания железа в агломерате изменением соотношения концентратов ОАО «ММК» и Лебединского ГОК по лабораторным исследованиям / С.К. Сибгатуллин, Д.Н. Гуцин, А.С. Харченко, В.А. Гостенин, К.В. Сенькин // Теория и технология металлургического производства. – 2014. – № 1 (14). – С. 12-15.
5. Влияние содержания железа в шихте на выход годного агломерата при спекании смеси концентратов ОАО «ММК» и ССГПО / Д.Н. Гуцин, А.С. Харченко, А.А. Бородин, Н.А. Биденко, К.В. Сенькин, А.В. Турук // Теория и технология металлургического производства. – 2012. – № 12. – С. 21-26.
6. Коротич В.И., Фролов Ю.А., Каплун Л.И. Теоретические основы технологий окискования металлургического сырья : учеб. пособие. – 2-е изд., исправл. и дополн. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2009. – 417 с.
7. Сибгатуллин С.К., Харченко А.С. Качество шихтовых материалов доменной плавки, включающих титаномагнетиты и сидериты. – Магнитогорск, 2012.
8. Кобелев В.А., Полоцкий Л.И., Смирнов Л.А. Исследование кинетики высокотемпературного карботермического восстановления ильменитовых и титаномагнетитовых концентратов // Сталь. – 2015. – № 11. – С. 6-9.
9. Пузанов В.П., Кобелев В.А. Структурообразование из мелких материалов с участием жидких фаз : монография. – Екатеринбург, 2001. – 634 с.
10. Качество агломерата из железорудных концентратов с повышенным содержанием оксида титана / В.М. Колокольцев, В.А. Бигеев, С.К. Сибгатуллин и др. // Теория и технология металлургического производства. – 2011. – № 11. – С. 4-8.
11. Особенности взаимосвязи содержания железа в агломерате с показателями процесса его производства из магнетитовых и титаномагнетитовых концентратов / С.К. Сибгатуллин, Д.Н. Гуцин, З.Р. Миникаева, Миникаев С.Р. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2014. – № 1. – С. 105-109.
12. Чижевский В.Б., Шавакулева О.П., Гмызина Н.В. Обогащение титаномагнетитовых руд Южного Урала // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2012. – № 2. – С. 5-7
13. Бигеев В.А., Носов С.К. Новые процессы производства и использования ванадиевых шлаков: монография. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2000. – 106 с.

### Сведения об авторах

**Гуцин Дмитрий Николаевич** – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sun-dima@ya.ru.

**Сибгатуллин Салават Камилович** – д-р техн. наук, проф. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mcm. @magtu.ru.

**Харченко Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

**Сысоев Виктор Иванович** – магистрант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: viktor.sysoev.86@yandex.ru.

**Малиханов Юрий Сергеевич** – аспирант, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 005:658.5.011

## ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ИКТ В ВЫСШЕМ ОБРАЗОВАНИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Рубан К.А.

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

**Аннотация.** Рассматривается нормативная база, регламентирующая процесс перехода образовательных учреждений на использование отечественного офисного программного обеспечения. Приводится примерный план мероприятий, направленных на подготовку к переходу организации на использование отечественного офисного программного обеспечения. Обозначены особенности и ключевые проблемы процесса импортозамещения для высшей школы.

**Ключевые слова:** программное обеспечение (ПО), отечественное ПО, зарубежное ПО, импортозамещение, реестр российского программного обеспечения, офисное программное обеспечение, информационно-коммуникационные технологии, план-график импортозамещения.

Импортозамещение средств информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в различных сегментах гражданского общества РФ является важнейшим драйвером «цифрового суверенитета» России. 10 января 2019 г. Дмитрий Медведев провёл совещание о развитии отечественной мобильной операционной системы в ходе которого сообщил, что доля российского программного продукта в госструктурах к 2024 г. должна превысить 90%, а в государственных компаниях составить не менее 70% [1]. Очевидно, что особое внимание в этом ключе должно уделяться сфере образования, поскольку именно в данном сегменте формируются базовые и профессиональные компетенции будущих специалистов, которым предстоит работать в условиях нового экономического, социального и технологического уклада.

В поддержку этих тезисов Правительством РФ было издано распоряжение от 26.07.2016 №1588-р «Об утверждении плана перехода в 2016-2018 годах федеральных органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов на использование отечественного офисного программного обеспечения» [2]. Данное распоряжение носило исключительно рамочный характер и не давало ответов на многие волнующие отрасль вопросы. Например, отсутствовало определение и состав понятия офисного программного обеспечения, отсутствовали ссылки на нормативную базу и какие-либо методические указания, не был описан механизм перехода. В соответствии с указанным распоряжением на все эти вопросы до конца 2016 года предстояло ответить Министерству связи и

массовых коммуникаций РФ. 29 июня 2017 года Минкомсвязи РФ издало приказ №334 «Об утверждении методических рекомендаций по переходу федеральных органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов на использование отечественного офисного программного обеспечения, в том числе ранее закупленного офисного программного обеспечения» [3].

Данный приказ разъяснял ряд важных положений, но так и не определил чёткого алгоритма действий:

1. К офисному программному обеспечению следует относить: операционную систему, коммуникационное программное обеспечение, офисные пакеты, почтовые приложения, органайзеры, средства просмотра, интернет-браузеры, редакторы презентаций, табличные редакторы, текстовые редакторы, программное обеспечение файловых менеджеров, справочно-правовые системы, программное обеспечение систем электронного документооборота и средства антивирусной защиты.

2. Используемое офисное программное обеспечение должно быть включено в реестр российского программного обеспечения, который утверждён постановлением Правительства Российской Федерации от 23 марта 2017 г. №325[4] и доступен на сайте <https://reestr.minsvyaz.ru/>.

3. Переход на использование отечественного офисного программного обеспечения должен осуществляться в соответствии с планом-графиком, который должен быть сформирован государственными органами и подведомственными им организациями на период 2017-2020 гг. и передан на согласование в Минкомсвязи РФ.

4. Индикаторы эффективности перехода должны быть установлены не ниже, чем показатели, указанные в рекомендованном плане-графике (от 70 до 100% в зависимости от категории ПО).

5. В случае невозможности выполнения рекомендованных показателей эффективности перехода на использование отечественного офисного программного обеспечения рекомендуется подготовить обоснование невозможности выполнения рекомендованных показателей эффективности.

В свою очередь, Министерство образования и науки РФ разослало по подведомственным учреждениям письмо №03-1307 от 18.07.2017 [5], в котором указало на необходимость организации работ по переходу на отечественное офисное ПО и формирование плана-графика перехода на период 2017-2019 гг. и на плановый период 2020 г.

Стоит отметить, что данной информации было недостаточно, и требовались дополнительные сведения о том, как и в каком объёме должен быть осуществлён процесс перехода на отечественное офисное ПО.

Для ответа на множество поступающих вопросов был выпущен ряд дополнительных документов, которые частично разрешили спорные моменты и предложили примерный состав плана мероприятий, необходимых для импортозамещения используемого ПО:

- Письмо Минобрнауки №03-1463 от 10.08.2017 [6].

- Приказ Минкомсвязи России от 04.07.2018 № 335 «Об утверждении методических рекомендаций по переходу органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления муниципальных образований Российской Федерации на использование отечественного офисного программного обеспечения, в том числе ранее закупленного офисного программного обеспечения» [7].

Ниже представлен примерный перечень мероприятий и требуемых результатов, направленных на переход организации на использование отечественного офисного программного обеспечения. Отметим, что в соответствии с рекомендациями, данными в приказе Минкомсвязи №335, все мероприятия подразделяются на 3 основные группы:

1. Мероприятия, направленные на подготовку организации к переходу на отечественное офисное программное обеспечение.

2. Мероприятия, направленные на модернизацию прикладного программного обеспечения информационных систем и модернизацию технологической инфраструктуры.

3. Мероприятия, направленные на обеспечение перехода организации на использование отечественного офисного программного обеспечения (см. таблицу).

В контексте указанных мероприятий можно считать, что наиболее трудоёмкой и ресурсоёмкой задачей является проблема подбора отечественного офисного ПО, удовлетворяющего всем потребностям пользователей и совместимого с эксплуатируемыми в организации информационными системами.

Стоит отметить, что весь спектр программного обеспечения используемого в высшей школе, условно можно разделить на инфраструктурное, прикладное, научно-исследовательское и обучающее. Построение инфраструктуры информатизации на базе экосистемы операционной системы Linux, использование облачных решений и веб-ориентированных сервисов, перевод внутреннего документооборота на ГОСТ Р ИСО/МЭК 26300-2010 (формат ODF) могут позволить частично решить проблему зависимости от зарубежного ПО.

Задача импортозамещения ПО, которое используется в научных изысканиях и образовательном процессе, пожалуй, является наиболее объёмной и болезненной, поскольку сопряжена с корректировкой учебных планов, рабочих программ (РП) дисциплин, учебных и методических материалов. Кроме того, зачастую преподавателям требуются курсы повышения квалификации, что влечёт дополнительную финансовую нагрузку и значительные временные издержки. В то же время стоит отметить, что «закостенелость» некоторых РП приводит к потере их актуальности и снижению качества подготовки кадров, а жизненный цикл любой дисциплины подразумевает обновление и актуализацию учебных и методических материалов, что позволяет произвести импортозамещение используемого ПО эволюционным путём в течение 2-х лет.

Отметим, что важно соблюдать принцип разумной достаточности и не пытаться переводить на отечественное ПО те дисциплины и бизнес-процессы, которые перевести невозможно ввиду неготовности средств ИКТ или их невостребованности на мировом рынке специалистов. Так, наиболее «опасными» являются компетенции, связанные с системами автоматизированного проектирования, графикой, дизайном, моделированием, научными расчётами, виртуализацией и т.д. В этих случаях целесообразно воспользоваться правом организации использовать иностранное ПО, прямых аналогов которого (с т.з. функциональности) в настоящее время не существует.

Перечень мероприятий, направленных на переход организации на использование отечественного офисного программного обеспечения

№ п/п	Мероприятие	Результат
1	Анализ использования офисного программного обеспечения в организации	Перечень офисного программного обеспечения, происходящего из иностранных государств, и ПО, сведения о котором включены в единый реестр российского программного обеспечения
2	Анализ требований, предъявляемых законодательством РФ, к функционированию различных типов офисного программного обеспечения, в том числе функциональных требований и требований по обеспечению информационной безопасности (ИБ)	Перечень ПО (см. п.1), дополненный функциональными требованиями и требованиями к ИБ
3	Анализ сведений о программном обеспечении, включенном в единый реестр российского программного обеспечения	Перечень отечественного ПО, реализующего функции офисного программного обеспечения и удовлетворяющего потребностям организации
4	Анализ текущих сроков амортизации используемых на момент планирования персональных электронных вычислительных машин, иных средств вычислительной техники и периферийных устройств, анализ срока действия прав на использование офисного программного обеспечения и сроков полезного использования нематериальных активов в отношении используемого на момент планирования офисного программного обеспечения, сведения о котором не включены в единый реестр российского программного обеспечения	Перечень средств ВТ и офисного ПО, находящегося на балансе организации и подлежащих замене или импортозамещению с указанными сроками амортизации и/или вывода из эксплуатации
5	Анализ используемого прикладного программного обеспечения информационных систем (ИС), в том числе с точки зрения применяемых в них технологий обработки данных, электронных документов, отчетных и иных форм, форматов и расширенных электронных документов	Перечень информационных технологий, систем управления базами данных, форматов данных, прикладных интерфейсов и т.д., используемых в реализации ИС организации
6	Анализ используемых в организации мобильных операционных систем для абонентских устройств радиоподвижной связи	Сводный перечень мобильных ОС и их версий с указанием количества пользователей. Указанные данные можно получить по результатам анализа посещаемости сайтов/порталов организации и используемых мобильных приложений
7	Оценка совместимости прикладного программного обеспечения информационных систем с отечественным офисным программным обеспечением, сведения о котором включены в единый реестр российского программного обеспечения, а также оценка совместимости отечественного офисного программного обеспечения с вычислительной инфраструктурой и периферийным оборудованием организации	Факторы и барьеры, препятствующие переходу на использование отечественного офисного программного обеспечения (отсутствие совместимости ПО и ОС, проблема с драйверами, отсутствие необходимых интерфейсов и т.д.)
8	Идентификация требований, предъявляемых к различным типам офисного программного обеспечения со стороны прикладного программного обеспечения информационных систем	Требования, сгруппированные по типам офисного ПО
9	Формирование перечня задач и мероприятий, направленных на устранение факторов и барьеров, препятствующих переходу на использование отечественного офисного программного обеспечения	Перечень задач и мероприятий с указанием сроков их реализации
10	Описание функциональной классификации автоматизированных рабочих мест (АРМ) работников организации и требований, предъявляемых к ним в части использования офисного программного обеспечения (для каждого типа офисного программного обеспечения), в соответствии с установленными в организации должностными функциональными обязанностями работников и функциональными требованиями, предъявляемыми прикладным ПО, используемым в организации	Перечень АРМ сотрудников с указанием требований
11	Формирование перечня мероприятий, направленных на модернизацию прикладного программного обеспечения информационных систем и вычислительной/периферийной инфраструктуры	Перечень мероприятий с оценкой требуемых временных и финансовых ресурсов для реализации указанных задач
12	Формирование требований к функциональным, техническим, эксплуатационным характеристикам в отношении каждого типа офисного программного обеспечения с учетом функциональной классификации АРМ работников и критических требований со стороны прикладного программного обеспечения информационных систем	Перечень требований

№ п/п	Мероприятие	Результат
13	Формирование требований к функциональным, техническим, эксплуатационным характеристикам, предъявляемым к персональным электронным вычислительным машинам, иным средствам вычислительной техники и периферийным устройствам, планируемым к закупке в последующие периоды с учетом необходимости обеспечения совместимости с отечественным офисным программным обеспечением	Перечень требований
14	Анализ существующих планов закупки офисного программного обеспечения, в том числе закупки прав на использование офисного программного обеспечения и закупки технической поддержки (обновлений) офисного программного обеспечения, сведения о котором не включены в единый реестр российского программного обеспечения, на последующие периоды, и их корректировка с учетом задач по переходу на использование отечественного офисного программного обеспечения и формируемой системы целевых показателей, а также соответствующих им индикаторов эффективности перехода на использование отечественного офисного ПО	Скорректированный план закупок

Существенным подспорьем в вопросе перехода на отечественное офисное ПО могла бы стать технология открытых систем, которая позволяет разрабатывать интероперабельные решения на базе открытых стандартов и технологий. Такой подход позволяет достичь максимальной степени интероперабельности ИС, используемых в образовании с другими системами и внешней средой, а значит, сократить расходы на их разработку и сопровождение [8].

Таким образом, импортозамещение средств ИКТ, используемых в высшем образовании, – процесс требующий тщательного планирования и проработки, который должен быть инициирован «снизу», но при активной поддержке администрации университета, министерства науки и высшего образования и профессионального сообщества.

#### Список литературы

- Кузьмин В. К 2024 году доля российского ПО в госструктурах должна превысить 90%. 10.01.2019г. // Российская газета. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/01/10/k-2024-godu-dolia-rossijskogo-po-v-gosstrukturah-dolzha-prevysit-90.html> (дата обращения: 25.05.2019).
- Распоряжение Правительства РФ от 26 июля 2016 года № 1588-р «Об утверждении плана перехода органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов на использование отечественного программного обеспечения». URL: <http://government.ru/docs/24017> (дата обращения: 21.05.2019).
- Приказ Минкомсвязи РФ от 29 июня 2017 № 334

«Об утверждении методических рекомендаций по переходу федеральных органов исполнительной власти и государственных внебюджетных фондов на использование отечественного офисного программного обеспечения, в том числе ранее закупленного офисного программного обеспечения». URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minkomsvyazi-Rossii-ot-29.06.2017-N-334> (дата обращения: 21.05.2019).

- Постановление Правительства Российской Федерации от 23 марта 2017 г. № 325 «О дополнительных требованиях к отечественному офисному программному обеспечению» URL: <http://government.ru/docs/26898> (дата обращения: 22.05.2019).
- Письмо Министерства образования и науки РФ от 18 июля 2017 года № 03-1307 «О предоставлении информации».
- Письмо Министерства образования и науки РФ от 10 августа 2017 года № 03-1463 «О предоставлении информации».
- Приказ Минкомсвязи РФ от 04 июля 2018 года № 335 «Об утверждении методических рекомендаций по переходу органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и органов местного самоуправления муниципальных образований Российской Федерации на использование отечественного офисного программного обеспечения, в том числе ранее закупленного офисного программного обеспечения». URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/6142> (дата обращения: 23.05.2019).
- Рубан К.А. Особенности интероперабельности в системах электронного образования // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2009. – № 5. – С.72-81.

#### Сведения об авторе

**Рубан Константин Алексеевич** – канд. техн. наук, доц., каф. бизнес-информатики и информационных технологий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [ruban-k@mail.ru](mailto:ruban-k@mail.ru).

УДК 669-162.24(075)

## ВИЗУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ ШИХТЫ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ

Сибгатуллин С.К., Харченко А.С., Филиппов Е.Г., Подберезный А.Ю., Сагадиев С.Р.

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

**Аннотация.** В работе приводится симуляция процесса распределения шихты при ее загрузке в пространство доменной печи. Программа производит также расчёт статистики по сформированному ландшафту россыпи, включающую в себя насыпную плотность шихты, потери напора, степень уравнивания шихты и коэффициент сопротивления шихты. Используя программу, мы сможем смоделировать процесс распределения железорудного сырья и спрогнозировать марку чугуна по окончании плавки.

**Ключевые слова:** доменная печь, матрица распределения шихты, скип, ландшафт россыпи, моделирование процесса распределения железорудного сырья.

### Введение

При загрузке сырья в доменную печь важное значение имеет компонентный состав смеси, который определяет марку выплаваемого чугуна, и также способ распределения шихты по объему печи. Смесь загружается загрузочной тележкой определенного фиксированного объема – скипом и эти порции распределяется по объему печи с помощью вращающегося лотка. Лоток может вращаться вокруг оси доменной печи и наклоняться под углом к вертикали, что позволяет укладывать слои материала по кольцевым зонам от оси.

### Постановка задачи

Предметом данной работы является созданная программа, обеспечивающая моделирование заполнения шихтой объема по осевому разрезу доменной печи (рис. 1).

При разработке модели были поставлены следующие основные требования:

- 1) возможность изменения состава шихты добавлением нового вида сырья путём указания параметров плотности и задания коэффициентов для уравнения траектории падения частиц компонента;
- 2) в качестве сырья указывать смесь двух различных материалов;
- 3) возможность задавать массу и порядок россыпи компонентов;
- 4) расчёт статистики по сформированному ландшафту россыпи.

Дополнительные требования включают в себя: обеспечение работы программного обеспечения на платформах Windows, Linux и Mac, возможность просмотра результата модели с помощью Microsoft Excel 2003 и выше.

Для удовлетворения всем установленным требованиям и для увеличения скорости разработки в качестве платформы была выбрана технология OpenOffice Basic. Данная технология позволила реализовать одну кодовую базу для всех платформ, а также возможность пользователю самостоятельно расширять статистику по сформированному ландшафту россыпи.

Статистика может включать следующие данные: массовый (в килограммах и количество скипов) и процентный состав компонентов шихты, расстояние от оси печи, насыпную плотность шихты, потери напора, степень уравнивания шихты и коэффициент сопротивления шихты.

### Принцип работы

Первоначально пользователь должен задать список состава шихты. По умолчанию в программе установлены четыре вида сырья – кокс, агломерат, окатыши и смесь агломерата и окатышей. После настройки списка материалов требуется задать матрицу распределения с указанием вида материала, его веса, плотности (рис. 2) и после всех подготовительных процедур запустить макрос. В нашей программе для распределительного лотка можно задать 11 станций, для каждой станции указывается целое количество оборотов распределительного лотка. Для расчёта статистики по сформированному ландшафту россыпи необходимо указать верхний уровень перепада давления, давление и объём колошникового газа.

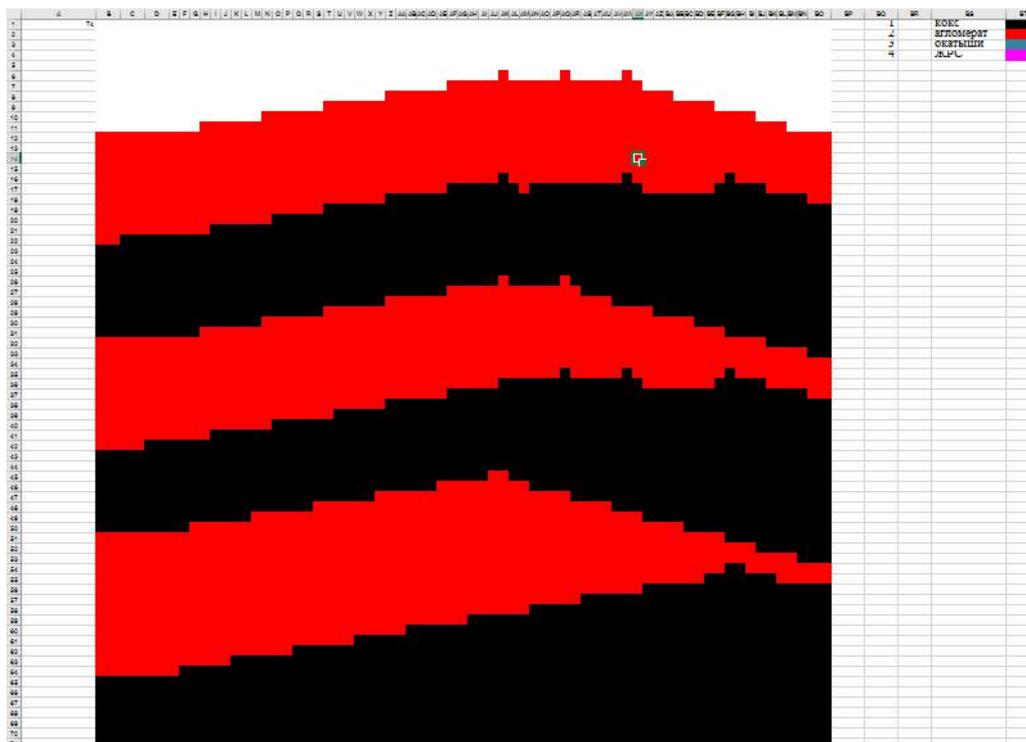


Рис. 1. Осевое сечение распределения шихты в доменном пространстве

ВИД	вес	Номер станции											ПЛОТНОСТЬ (кг/м <sup>3</sup> )
		11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	
кокс	3933		1	1	1								470
кокс	5932				1	1	1	1	1		1		470
ЖРС	7867			1	1	1							2046
агломерат	14590				2	2	2						1992
ЖРС	7867			1	1	1							2046

Рис. 2. Начальная матрица

### Заключение

Процесс получения чугуна в доменной печи – процесс длительный и непрерывный. На выходе из доменной печи получается чугун. Есть много марок чугуна и при изменении содержания железо рудного сырья может получиться партия чугуна другой марки, что в конечном итоге приводит к потере денег и времени. Используя программу, мы сможем смоделировать процесс распределения железорудного сырья и заранее узнать, какой марки на выходе получится чугун.

В результате работы были реализованы: возможность добавления нового вида сырья путём указания параметров плотности и задания коэффициентов для уравнения траектории падения сырья, возможность в качестве сырья указывать смесь двух различных материалов, возможность задания массы и порядка россыпи материалов, расчёт статистики по сформированному ландшафту россыпи, включающим в себя насыпную плотность шихты, потери напора, степень уравнивания шихты и коэффициент сопротивления шихты.

## Список литературы

1. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Logachev G.N. The rational mode of nut coke charging into the blast furnace by compact trough-type charging device // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2016. – Т. 86. – № 1-4. – С. 531-537.
2. Зависимость равномерности поступления агломерата и окатышей в колошниковое пространство печи от последовательности размещения их в бункере БЗУ / С.К. Сибатуллин, Е.О. Теплых, А.С. Харченко, Р.Ф. Махмутов, М.А. Семенюк, В.А. Бегинюк // Теория и технология металлургического производства. – 2012. – № 12. – С. 16-21.
3. Харченко А.С. Закономерности поступления компонентов шихты по крупности из бункера бзу в колошниковое пространство печи в зависимости от условий загрузки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 3. – С. 46-56.
4. Рациональное размещение материалов в шихтовом бункере компактного бесконусного загрузочного устройства / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, Е.О. Теплых, В.А. Бегинюк, М.А. Семенюк, Д.Н. Гуцин // Металлургические процессы и оборудование. – 2014. – № 1 (35). – С. 27-32.
5. Действие различных факторов на равномерность поступления шихтовых материалов по крупности из бункера бзу лоткового типа / С.К. Сибатуллин, А.С. Харченко, В.А. Бегинюк, Е.О. Харченко, М.И. Сибатуллина, С.Р. Миникаев, Г.Ю. Савченко // Теория и технология металлургического производства. – 2016. – № 2 (19). – С. 8-12.
6. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Devyatchenko L.D., Steblyanko V.L. Improvement of iron ore burden components distribution when charging into blast furnace top by physical and mathematical modeling of fixed effects // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2017. – Т. 52. – № 4. – С. 694-701.
7. Chukin M.V., Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Chernov V.P., Logachev G.N. Influence of coke nut introduction in blast furnace charge on melting parameters // CIS Iron and Steel Review. – 2016. – Т. 12. – С. 9-13.
8. Рациональный режим загрузки коксового орешка в шихтовый бункер БЗУ / А.В. Чевычелов, А.В. Павлов, Е.О. Теплых, А.С. Харченко, С.К. Сибатуллин // Сталь. – 2013. – № 7. – С. 8-9.
9. Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Бегинюк В.А. Технологические решения для оптимальной реализации доменного процесса // Металлург. – 2014. – № 4. – С. 64-70.
10. Влияние различных факторов на равномерность распределения коксового орешка в колошниковом пространстве доменной печи, оснащенной бзу лоткового типа / А.С. Харченко, С.К. Сибатуллин, Д.Н. Гуценко, Е.О. Теплых // Теория и технология металлургического производства. – 2010. – № 10. – С. 33-38.
11. Об условиях, необходимых для эффективного использования коксового орешка в шихте доменной печи / А.С. Харченко, Е.О. Теплых, В.Л. Терентьев, А.А. Полинов, С.А. Гришечкин, М.А. Семенюк // Теория и технология металлургического производства. – 2010. – № 10. – С. 26-30.
12. Харченко А.С., Сибатуллин С.К., Колосов А.В. Использование нейросетевого моделирования для изучения газодинамического режима в нижней части доменной печи в условиях ее работы с коксовым орешком // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2011. – № 11. – С. 23-26.
13. Сибатуллин С.К., Харченко А.С. Качество шихтовых материалов доменной плавки, включающих титаномагнетиты и сидериты. – Магнитогорск, 2012.
14. Харченко А.С. Выявление закономерностей совместного поступления агломерата и окатышей из бункера БЗУ лоткового типа в колошниковое пространство печи физическим моделированием // Черная металлургия. – 2019. – № 1. – С. 37-48.
15. Сибатуллин С.К., Харченко А.С., Девятченко Л.Д. Оценка неравномерности распределения шихтовых материалов в доменной печи // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2018. – Т. 61. – № 10. – С. 766-773.
16. Sibagatullin S.K., Kharchenko A.S., Savchenko G.Yu., Beginyuk V.A. Blast furnace performance improved through optimum radial distribution of materials at the top while changing the charging pattern // CIS Iron and Steel Review. – 2018. – Т. 16. – С. 11-14.

## Сведения об авторах

**Сибатуллин Салават Камирович** – д-р техн. наук, проф. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: mcm. @magtu.ru.

**Харченко Александр Сергеевич** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. МиХТ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: as.mgtu@mail.ru.

**Филиппов Евгений Георгиевич** – канд. физ.-мат. наук, доц. каф. ВТиП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Filippov.evg.georg@gmail.com.

**Подберезный Алексей** – бакалавр каф. ВТиП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Coalex@mail.ru.

**Сагадиев Сергей** – бакалавр каф. ВТиП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 378.147

**СИГНАТУРЫ СИСТЕМ ОБНАРУЖЕНИЯ ВТОРЖЕНИЙ: ОСНОВЫ IDS СИГНАТУР**

Кудрявцев М.Е., Калугина О.Б.

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

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены принципы работы сигнатурных методов обнаружения вторжений, приведена сложность и границы применимости сигнатурного метода обнаружения атак. Рассмотрены способы создания сигнатур и эффективность алгоритмов их определения. Приведены способы реализации сигнатурного метода: способ сигнатурного распознавания – алгоритм, исследующий динамику развития атаки, основанный на автомате состояний для оценки сценария развития атаки и методы, используемые в обнаружении аномалии, которые включают использование пороговых значений и статистических мер, в реализации которых решение о наличии атаки делается по большому количеству собранных данных. Для реализации сигнатурного метода предотвращения вторжений необходима поддержка международных стандартов и рекомендаций, для примера были приведены рекомендации стандарта RFC, используемые для анализа признаков аномальных атрибутов сетевого трафика. Рассмотрены некоторые примеры и методы, которые позволяют идентифицировать сигнатуры вторжений. Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности работы систем обнаружения атак.

**Ключевые слова:** сигнатуры вторжений, методы обнаружения вторжений, анализ сетевых пакетов, алгоритм определения вторжения.

**Введение**

На сегодня системы обнаружения вторжений и атак обычно представляют собой программные или аппаратно-программные решения, которые автоматизируют процесс контроля событий, которые протекают в компьютерной системе или сети и которые самостоятельно анализируют эти события в поисках признаков проблем безопасности [1]. Поскольку количество различных типов и способов организации несанкционированных проникновений в чужие компьютерные сети постоянно увеличивается, СОА стали необходимым компонентом инфраструктуры безопасности самых разных типов организаций [2, 3].

В качестве сигнатуры атаки может выступать шаблон действий или строка символов, характеризующие аномальную деятельность. Такие сигнатуры хранятся в различных базах данных, аналогичных той, которые используются в антивирусных системах [4].

Сигнатурный метод может защитить от вирусной или хакерской атаки, когда уже известна сигнатура атаки, например неизменный фрагмент тела вируса, и она внесена в базу данных СОА. То есть, когда сеть переживает первое нападение извне, первое заражение еще неизвестным вирусом и в базе попросту отсутствует сигнатура для его поиска, сигнатурная СОА не сможет сигнализировать об опасности, поскольку сочтет атакую-

щую деятельность легитимной, такие уязвимости называют уязвимостями нулевого дня. Поэтому данная технология обнаружения атак очень схожа с технологией обнаружения вирусов, при этом система может обнаружить все известные атаки. Однако системы данного типа не могут обнаруживать новые, еще неизвестные виды атак [5, 6]. Подход, реализованный в таких системах, достаточно прост, и именно на нем основаны практически все системы обнаружения атак. Однако при эксплуатации и этих систем администраторы сталкиваются с проблемами. Первая проблема заключается в создании механизма описания сигнатур, то есть языка описания атак. Вторая проблема, связанная с первой и она заключается в правильном описании атаки, для того, чтобы зафиксировать все возможные модификации [7].

Большинство современных антивирусов, сканеров уязвимостей и систем обнаружения вторжений (СОВ) используют «синтаксические» сигнатуры, взятые непосредственно из тела атаки (файла вируса или сетевого пакета, принадлежащего эксплойту).

Сигнатура атаки содержит несколько компонентов, которые помогают однозначно её идентифицировать. Идеальная сигнатура – это такая сигнатура, которая, с одной стороны, полностью определяет атаку, а с другой – является настолько простой, насколько это возможно для более простого определения (большие сложные сигнатуры могут стать причиной серьезных накладных расходов на их обработку). Поскольку существуют различные типы атак, то должны быть различные

типы сигнатур. Некоторые сигнатуры можно улучшить, изучая уникальные характеристики отдельных режимов работы протокола IP. Возможно, что таким образом можно будет идентифицировать сканирование различных портов. Другие сигнатуры определяются в результате анализа программного кода атаки.

Большинство сигнатур было создано путем многократного выполнения уже известного программного кода атаки с контролем сопутствующих ему данных в сети и поиском в них уникальной последовательности двоичных кодов, повторяющихся при каждом выполнении. Этот способ создания сигнатур хорошо зарекомендовал себя в случае последовательных попыток известных типов атак на сеть.

Таким образом, эффективность работы определения сигнатур зависит от трех факторов:

- оперативности пополнения базы сигнатурных атак;
- ее полноты с точки зрения определения возможных сигнатур атак;
- наличия интеллектуальных алгоритмов сведения действий атакующих к некоторым базовым шагам, в рамках которых происходит сравнение различных сигнатур.

Для поиска сигнатур в сетевых пакетах используются правила, формирующие перечень опций, по которым осуществляется проверка поступающих сетевых пакетов. Существуют системы, как, например, Snort, которые используют поиск по известным сигнатурам.

### Результаты экспериментальных исследований

В качестве инструмента исследований были рассмотрены: онлайн-метаантивирус VirusTotal и библиотека вирусов AVCaesar; для проверки был выбран отсутствующий в базах скрытый вирус удаленного доступа, код которого был размещен в облачном хранилище [8]. При первоначальной проверке на VirusTotal почти никакие антивирусы не смогли определить вредоносность файла, но после прохождения 24-х часов метаантивирус VirusTotal отправил данную сигнатуру файла различным компаниям, антивирусные базы были обновлены, и вирус был удален с облачного хранилища.

Рассмотрим некоторые примеры и методы, которые позволяют их идентифицировать сигнатуры вторжений:

- Попытки подключения с зарезервированного IP-адреса. Могут быть легко обнаружены простой проверкой поля адреса в IP-заголовке.
- Пакеты с недопустимыми комбинациями TCP-флажков. Могут быть найдены сравнением набора флажков в TCP-заголовке с известными допустимыми или недопустимыми комбинациями флажков.

– Электронные сообщения, содержащие определенные вирусы. IDS может сравнить имя поля объекта или вложения с известными именами, связанными с известными вирусами.

– Переполнение буфера в DNS при использовании недопустимого запроса. Анализ DNS-полей и проверка длины каждого из них помогает идентифицировать попытку переполнения буфера.

– DoS против POP3 сервера путем вызова одной и той же команды тысячи раз. Сигнатура для этого типа нападения должна хранить информацию о том, сколько раз была вызвана команда и предупреждение, когда это число превысит некоторый порог.

– Попытка запроса файла на FTP-сервере без предварительной регистрации. Сигнатура должна предупреждать в случае, когда произошла попытка вызова команды без подтверждения подлинности.

Возможности сигнатур зависят от конкретных IDS-систем, т.е. некоторые из описанных методов не могут быть осуществлены какой-то IDS [9-11]. Некоторые IDS-системы концентрируются на использовании собственных сигнатур, а другие позволяют внедрять практически любую сигнатуру, которую можно создать и оперативно подключить к базе.

Для успешной реализации сигнатурного метода предотвращения вторжений необходима поддержка международных стандартов и рекомендаций, для примера можно взять стандарт RFC (Request for Comments). Который разрабатывается и дополняется с 1969 г. по сей день. Любой член организации ISOC или обычный человек может сделать предложение по созданию или изменению какого-либо пункта стандарта.

Рассмотрим примеры, содержащиеся в стандартах RFC:

- Различные источники IP-адреса
- TCP порт источника 21, порт адресата 21; / Так как предоставляемые через UDP-порт 21 UDP услуги не отличаются надежностью, датаграммы могут быть получены в сдублированном виде, с нарушенной очередностью или даже могут пропасть без какого-либо предупреждения. UDP на порт 21 проверка и исправление ошибок не являются обязательными или должны выполняться в прикладной программе, что позволяет избежать накладных расходов на такую обработку на уровне сетевого интерфейса.
- Типсервиса (Type of service, ToS) 0;
- IP identification number 39426; / Аналогично, IP identification number, установленный во всех пакетах на 39426. IP RFC определяет, что это значение должно изменяться в разных пакетах, так что постоянное значение очень подозрительно.
- Набор флажков SYN и FIN; / SYN и FIN традиционно используются вместе, чтобы обойти

межсетевые защиты и другие защитные устройства, но их присутствие может означать, что проводится просто сканирование нашей защиты, идет сбор информации или началось нападение. Так что сигнатура, основанная только на SYN и FIN, может быть слишком проста, чтобы быть действительно полезной.

- Различные наборы sequence numbers
- Различные наборы acknowledgment numbers

– Размер TCP window 1028 / Как правило, стоит ожидать, что TCP window size будет больше, чем 1028; хотя это значение и не является запрещенным, может, это всего лишь совпадение, но все же эту странность стоит проверить

Сами по себе эти правила не всегда указывают на возможность атаки, но сочетание нескольких правил при проверке должно насторожить на счёт атаки.

### Идентификация возможных компонентов сигнатуры

Одним из наиболее распространённых сигнатурных методов выявления атак является метод контекстного поиска определённого множества символов в исходных данных. Данный метод позволяет эффективно выявлять атаки на основе анализа сетевого трафика, поскольку данный метод позволяет наиболее точно задать параметры сигнатуры, которую необходимо выявить в потоке исходных данных.

Методы, базирующиеся на экспертных системах, позволяют описывать модели атак на естественном языке с высоким уровнем абстракции. Экспертная система, которая лежит в основе методов этого типа, состоит из базы фактов и базы правил. Факты представляют собой исходные данные о работе ИС, а правила – методы логического вывода об атаке на основе имеющейся базы фактов. Все правила экспертной системы записываются в формате "если <...>, то <...>". Результирующая база правил должна описывать характерные признаки атак, которые должна обнаруживать СОА.

### Заключение

В работе рассмотрены принципы работы сигнатурных методов обнаружения вторжений, приведена оценка сложности и границы применимости сигнатурного метода. Приведены различные классификации всех типов сетевых атак и примеры реализации каждого из видов атак.

Рассмотрены способы реализации сигнатурного метода: способ сигнатурного распознавания; алгоритм, исследующий динамику развития атаки, основанный на автомате состояний для оценки сценария развития атаки и методов.

Переход от поиска сигнатур атак к выявлению предпосылок возникновения угроз информационной безопасности должен способствовать тому, чтобы в корне изменить данную ситуацию, сократив дистанцию отставания в развитии систем защиты от систем их преодоления. Современный подход к построению систем обнаружения сетевых вторжений и выявления признаков компьютерных атак на информационные системы полон недостатков и уязвимостей, позволяющих, к сожалению, злонамеренным воздействиям успешно преодолевать системы защиты информации. Переход от поиска сигнатур атак к выявлению предпосылок возникновения угроз информационной безопасности должен способствовать тому, чтобы в корне изменить данную ситуацию, сократив дистанцию отставания в развитии систем защиты от систем их преодоления. Кроме того, такой переход должен способствовать повышению эффективности управления информационной безопасностью и, наконец, более конкретным примерам применения нормативных и руководящих документов уже ставших стандартами.

### Список литературы

1. Kohlenberg, Toby (Ed.), Alder, Raven, Carter, Dr. Everett F. (Skip), Jr., Foster, James C., Jonkman Marty, Raffael, and Poor, Mike, "Snort IDS and IPS Toolkit," Syngress, 2007, ISBN 978-1-59749-099-3
2. Барабанов А., Марков А., Цирлов В. Сертификация систем обнаружения вторжений. Открытые системы. СУБД № 03 2012 г. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.osp.ru/os/2012/03/13015155/> (дата обращения 18.02.2014).
3. Barankov V.V., Barankova I.I., Mikhailova U.V., Kalugina, O.B. Experience of Developing Cloud Service for accounting Sales in installments // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015. – P. 042004
4. Обеспечение защиты информации от утечки по техническим каналам. Практикум: учеб пособие / И.И. Баранкова, У.В. Михайлова, Г.И. Лукьянов, О.Б. Калугина. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2018. – 50 с.
5. Половко И.Ю., Пескова О.Ю. Анализ функциональных требований к системам обнаружения вторжений // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №2 (151).
6. Никишова А.В. Принципы функционирования многоагентной системы обнаружения атак // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 12 (137). – С. 28-33.
7. Информационное письмо ФСТЭК России об утверждении требований к системам обнаружения вторжений [Электронный ресурс]. – URL: <http://fstec.ru/component/attachments/download/305> (дата обращения 18.02.2014).
8. Кудрявцев М.Е., Калугина О.Б. Разработка средства моделирования угроз безопасности информационной системы на основе теории графов // Безопасность информационного пространства: сб. тр. XVII Всероссийской научно-практической конфе-

- ренции студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2018. – С. 133-138.
9. Mikhailova U.V., Lukyanov G.I., Kalugina, O.V. Software for estimating of a premises acoustic security // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol.1210. – P. 012096
10. Баранкова И.И., Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. Прогнозирование локальных и внешних угроз на информационные серверы предприятия // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – №. 1. – С. 217-220.
11. Баранкова И.И., Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. DLP-система: защита от утечки информации. анализ поиска wordsearch // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2016. – №. 1. – С. 187-191.

#### Сведения об авторах

**Кудрявцев Михаил Евгеньевич** – студ. гр. АИБ-17 кафедры ИиИБ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: go9000@yandex.ru.

**Калугина Ольга Борисовна** – канд. техн. наук, доц. кафедры ИиИБ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kalugina.olga@bk.ru

УДК 678.3.06

## СОЦИАЛЬНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ В ТАРГЕТИРОВАННЫХ АТАКАХ

Казаковцев М.С., Михайлова У.В., Афанасьева М.В.

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

**Аннотация.** С момента появления компьютеров и начала развития Интернета программисты всеми силами стремятся обеспечить компьютерную безопасность. Но даже сегодня добиться этого на 100% не удалось никому. Всею виной слабости человеческого фактора и социальная инженерия, использующая их. Целью данной работы является структурирование всей имеющейся информации о социальной инженерии с последующим выводом методов защиты. В статье рассматриваются самые популярные методы применения социальной инженерии, такие как фишинг, ложные антивирусы, ложные лотереи, плечевой серфинг, претестинг. Приводятся наглядные примеры их использования. Предложены организационные меры защиты от таргетированных атак, применяемых в социальной инженерии.

**Ключевые слова:** социальная инженерия, социальные сети, фишинг, ложные лотереи, ложные антивирусы, претекстинг, дорожное яблоко, плечевой серфинг.

Давайте представим, что удалось достигнуть полной компьютерной безопасности благодаря мощнейшей криптографии, усиленным протоколам безопасности, надежному программному обеспечению и другим элементам защиты. Мы получили абсолютно безопасную сеть и можем смело в ней работать.

Но это не так. Почему? Да потому, что пользу от любой компьютерной системы можно получить только лишь при участии людей. И как раз это взаимодействие между компьютером и человеком несет в себе наибольшую опасность, и человек зачастую оказывается наиболее слабым звеном в цепи мер безопасности.

Существуют методы, позволяющие манипулировать людьми так, как только захочется злоумышленнику. Комплекс этих методов называется социальной инженерией.

Социальная инженерия – это методы управления действиями человека без использования технических средств. Основана она на использовании слабостей человеческого фактора [1-3].

Самым легким способом получить информацию являются социальные сети. Происходит анализ жертвы и сбор первичных данных для атаки, таких, как адреса, даты рождения, электронная почта. В 90% случаев эта информация общедоступна в социальных сетях. Любой человек может легко зайти в тот же «ВКонтакте» и посмотреть дату рождения, странички родственников, иногда даже место работы жертвы, а в «Instagram» можно вообще узнавать, где человек находится прямо сейчас, благодаря так называемым «историям».

Чтобы перейти к более конфиденциальной информации, используется более сложный метод социальной инженерии, называемый фишингом (рис. 1), от слова «выуживание» с английского языка. Как пример, создается сайт, который выглядит точно так же, как и популярный сайт, которому можно доверять, с похожей ссылкой. Эта ссылка высылается жертве, с условным предложением что-то посмотреть, она заходит туда и видит знакомый сайт. Далее уже вводит логин и пароль от оригинального сайта, которые в итоге окажутся у злоумышленника, а жертва же, в свою очередь, увидит сообщение об ошибке или что-то подобное [4-8]. Таким образом, ничего не заподозрив, человек добровольно отдает свои данные в руки мошенникам.

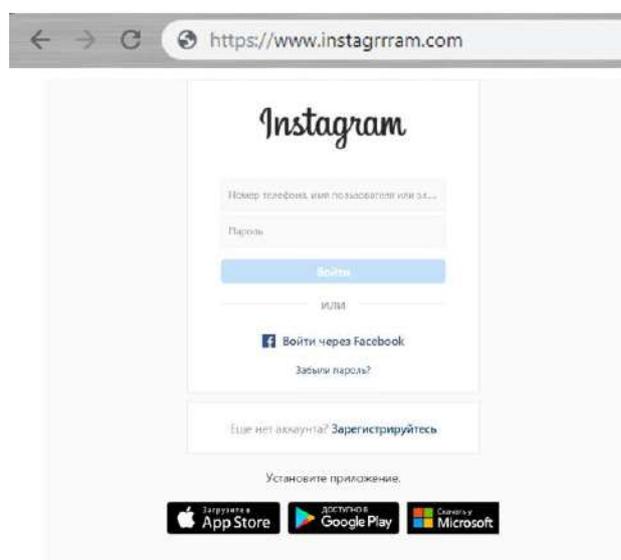


Рис. 1. Фишинговый сайт

Часто мы сталкиваемся с рассылкой в социальных сетях или на электронную почту объявлений о выигрышах в ложных лотереях. Такой метод заключается в том, что создается похожий на оригинальный аккаунт популярной компании или магазина, и с него делают рассылку сообщений, большинство из которых начинаются по типу: «Поздравляем! Вы выиграли в лотерее...» (рис. 2). Разумеется, для получения «выигрыша» вас попросят внести на указанный счет некоторое количество денег под тем или иным предлогом. Это может быть комиссия за перевод выигрыша, налог, плата за открытие счета в банке т.п. Эти расходы часто кажутся «счастливчику» несущественными по сравнению с обретенной суммой. Но получив деньги, мошенники просто прерывают все контакты, и найти их практически невозможно [8-13].



Рис. 2. Обманное сообщение

Рассмотрим следующую ситуацию. Представьте, мы находимся в Интернете, щелкаем по ссылке, переходим с сайта на сайт, обычное дело. Но вот мы попадаем на сайт, где нам ненавязчиво предлагают абсолютно бесплатно установить на компьютер программу (рис. 3) для сканирования системы на вирусы и уязвимости, а также для защиты от интернет-угроз.

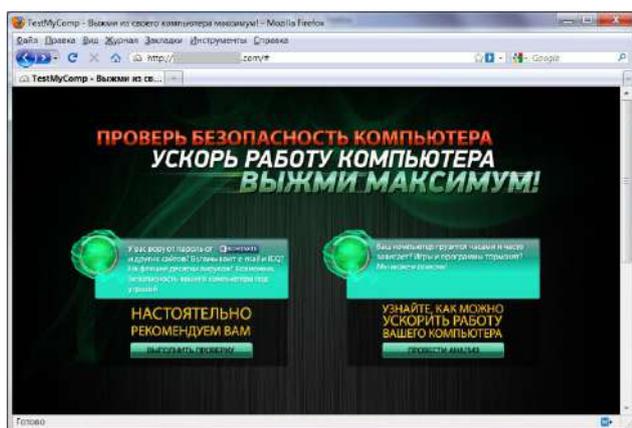


Рис. 3. Ложный антивирус

Допустим, мы соглашаемся и скачиваем предложенную программу, соблазн-то велик – лишнего раз проверить свой компьютер на вирусы, а тем более бесплатно. Далее проходит типичная процедура установки, которая ничем не отличается от

стандартной, поэтому никакого подвоха не видно. Далее запускается процесс сканирования системы, в ходе которого обязательно будут обнаружены вирусы на вашем компьютере. Программа попытается вас убедить, что угроза очень опасна и от нее нужно срочно избавляться. А далее может следовать предложение отправить платное SMS или приобрести лицензионную копию этой программы, чтобы с её помощью избавить компьютер от найденных вирусов. Пользователь отправляет свои деньги мошенникам, не подозревая, что никаких вирусов в его компьютере скорее всего и не было. Заплатив деньги, мы в лучшем случае получим абсолютно бесполезную программу, которая по факту ничего не делает, а в худшем – получим свой компьютер троян, который крадет конфиденциальную информацию.

Следующим методом, является метод социальной инженерии, в которой злоумышленник представляется другим человеком и по заранее подготовленному сценарию выуживает конфиденциальную информацию или претекстинг. Его цель состоит в том, чтобы человек выдал конкретные сведения или совершил конкретное действие. В большинстве случаев претекстинг применяется при телефонных звонках. Чаще всего для этого злоумышленник представляется, например, сотрудником службы безопасности банка, но может также представиться и новым сотрудником соседнего отдела на вашей работе, и вашим сетевым приятелем (взяв материал для представления из вашей же соцсети), и даже — вашим близким родственником, попавшим в беду. Да-да, многочисленные разводы «папа, я сбил человека» — это тоже социальная инженерия (рис. 4).



Рис. 4. Претекстинг

Следующий метод социальной инженерии – «дорожное яблоко», которое представляет собой адаптацию троянского коня, и состоит в использовании физических носителей информации. Злоумышленник может подбросить зараженный CD или флэш-накопитель в место, где он может быть

легко найден (лифт, парковка, туалет). Носитель подделывается под официальный, путем снабжения его логотипом компании, и сопровождается подписью, призванной вызвать любопытство.

Рассмотрим пример. Злоумышленник может подбросить CD, снабжённый корпоративным логотипом и ссылкой на официальный сайт компании цели, и снабдить его надписью: «Заработная плата руководящего состава Q1 2019». Диск может быть оставлен в вестибюле или на полу лифта. Сотрудник, заинтересовавшись находкой, может подобрать его и вставить в компьютер, чтобы удовлетворить своё любопытство. Ну а дальше, логично, происходит заражение.

Метод банальнее подглядывания в соцсетях – плечевой серфинг. Плечевой серфинг включает в себя наблюдение личной информации жертвы через её плечо. Этот тип атаки распространен в общественных местах, таких как торговые центры, кафе, вокзалы, аэропорты, а также в общественном транспорте.

Опрос ИТ-специалистов в белой книге о безопасности показал, что: 82 % признались, что информацию, отображаемую на их экране, могли бы видеть посторонние лица; 82 % слабо уверены в том, что в их организации кто-либо будет защищать свой экран от посторонних лиц.

Мы обозначили наиболее распространенные методы социальной инженерии и встает вопрос: а как обычному человеку вообще можно от этого всего себя защитить?

Точной инструкции никто на этот вопрос не даст, потому что все равно везде можно будет найти лазейку, но некоторые особо важные, пускай и банальные для нас советы все же можно дать:

1) Не создавайте простых паролей, например, 123456 или же qwerty. На многих сайтах такие пароли уже нельзя поставить, вас попросят придумать другой, но в некоторых местах все еще можно.

2) Никогда не записывайте свои личные данные на бумажке.

3) Не вводите личные данные, когда у вас кто-нибудь стоит за спиной или просто рядом.

4) Никогда не подбирайте информационные носители и уж тем более не вставляйте их в свой компьютер.

5) Всегда проверяйте подлинность ссылок, по которым вы переходите.

6) Если вам друг прислал странное сообщение, с просьбой что-то где-то заполнить или перейти по ссылке, или еще хуже переслать куда-то денег, удостоверьтесь в том, что это прислал вам вовсе не ваш друг.

7) Не выбрасывайте документы просто в мусорное ведро. Воспользуйтесь перед этим щредером.

8) И самое банальное: всегда и все подвергайте сомнению.

Свою статью хотелось бы закончить такой мыслью. Как бы мир не совершенствовался, как бы технологии не развивались, все это делает человек. И только поэтому никогда нельзя будет достичь во всем идеала. А в данном случае – в безопасности.

### Список литературы

1. Анатомия таргетированной атаки [Электронный ресурс]. 16.12.2016. – URL: <https://www.kaspersky.ru/blog/targeted-attack-anatomy/4388/> (дата обращения: 06.02.2019).
2. Социальная инженерия как метод атаки [Электронный ресурс]. 7.02.2018. – URL: <https://habr.com/ru/post/348496/> (дата обращения: 06.02.2019).
3. Социальная инженерия [Электронный ресурс]. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B8%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B8%D0%BD%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B8%D1%8F) (дата обращения: 06.02.2019).
4. Мошенничество и социальная инженерия: как не стать жертвой? [Электронный ресурс]. 31.07.2016. – URL: [https://pikabu.ru/story/moshennichestvo\\_i\\_sotsialnaya\\_inzheneriya\\_kak\\_ne\\_stat\\_zhertvoy\\_4373100](https://pikabu.ru/story/moshennichestvo_i_sotsialnaya_inzheneriya_kak_ne_stat_zhertvoy_4373100) (дата обращения: 06.02.2019).
5. Сбор информации из открытых источников. [Электронный ресурс]. 28.12.2017. – URL: <https://studfiles.net/preview/6806315/page:3/> (дата обращения: 06.02.2019).
6. Елена Виноградова. Взломай меня, если сможешь. [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.fontanka.ru/longreads/vzlomai\\_menya\\_kr\\_uptonite\\_startup/#4](https://www.fontanka.ru/longreads/vzlomai_menya_kr_uptonite_startup/#4) (дата обращения: 24.03.2019).
7. Мария Рубинштейн. Поздравляем, вы выиграли! или что скрывается за лотереями в Интернете. 26.01.2012. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.comprice.ru/articles/detail.php?ID=463125> (дата обращения: 24.03.2019).
8. Социальная инженерия: «Дорожное яблоко». 27.03.2010. [Электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/89109/> (дата обращения: 24.03.2019).
9. Баранкова И.И., Михайлова У.В., Лукьянов Г.И. Обеспечение медиабезопасности в информационном обществе // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 314.
10. Михайлова У.В., Иванова А.В., Дегтярева А.В. Оценка уровня медиакультуры в МГТУ им. Г.И. Носова // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й международной научно-технической конференции. – 2018. – С. 315.
11. Азовцева А.А., Михайлова У.В., Баранкова И.И.

- Роль медиакультуры в процессе обеспечения медиабезопасности / Безопасность информационного пространства: сб. тр. XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. – 2018. – С. 60-63.
12. Varankova I.I., Mikhailova U.V., Varankov V.V., Kalugina O.V. Experience of developing cloud service for accounting sales in installments // Journal of Physics: Conference Series (см. в книгах). – 2018. – Т. 1015. – С. 042004.
13. Дегтярева А.В., Иванова А.В., Михайлова У.В. Оценка уровня медиакультуры в г. Магнитогорске / Безопасность информационного пространства: сб. тр. XVII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. – 2018. – С. 92-96.

#### Сведения об авторах

**Казаковцев Михаил Сергеевич** – студ. АИБ-18, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: misha.mk74@mail.ru

**Михайлова Ульяна Владимировна** – канд. техн. наук, доц. каф. ИиИБ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ulianapost@gmail.com.

**Афанасьева Маргарита Владимировна** – ассист., каф. ИиИБ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: Nansy\_stokly@mail.ru

---

УДК 536.51

## ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ ТЕРМОПАР С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ИНЕРЦИИ ДАТЧИКОВ В ПЛК

Худяков П.Ю., Мустафин А.С., Новоселов А.А., Шевченко С.Н.

Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма

**Аннотация.** В статье рассмотрена проблема наличия тепловой инерции у термоэлектрических преобразователей. На основе проведенного исследования разработана инженерная методика определения показателей тепловой инерции термопар, а также описан алгоритм расчета конечной температуры среды по параметрам термопары и скорости изменения сигнала термопары.

**Ключевые слова:** тепловая инерция, термопара, программная обработка.

### Введение

Современные промышленные датчики температуры, реализованные на базе первичных измерительных преобразователей, таких как термоэлектрические преобразователи (термопары) и термометры сопротивления, обладают значительной тепловой инерцией. Инерция изменения показаний датчика по отношению к изменению температуры измеряемой среды обусловлена конструкцией датчика и объясняется теплопередачей через многослойную стенку [1–7]. Следовательно, при изменении температуры среды, датчик будет передавать действительное значение температуры спустя некоторое время, называемое временем инерции. Согласно документации производителей датчиков температуры время тепловой инерции, для большинства промышленных сенсоров, находится в пределах от 30 до 60 с.

Наличие тепловой инерции в ряде случаев может привести к увеличению времени срабатывания системы защиты по температуре технологического агрегата, а также к ухудшению качества регулирования технологических параметров.

Использование защитных гильз и прочей вспомогательной арматуры для датчиков приводит к увеличению количества слоев при передаче тепла от среды к чувствительному элементу и, следовательно, увеличивает тепловую инерцию измерительного канала.

Для решения данной проблемы было проведено исследование и разработан метод определения показателей тепловой инерции термопар, а также разработан алгоритм расчета конечной температуры среды по параметрам термопары и скорости изменения сигнала термопары.

Рассмотрим процесс вывода упрощенной модели нагрева чувствительного элемента термопары при изменении температуры среды.

В общем случае на чувствительный элемент воздействуют два механизма передачи тепла: конвекция и радиационный теплообмен (рис. 1).

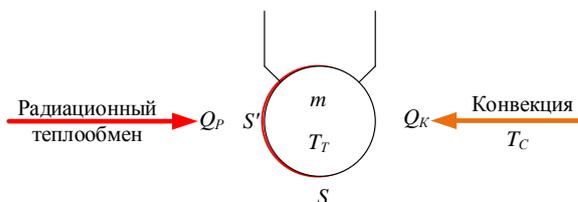


Рис. 1. Передача тепла чувствительному элементу термопары

Тепловая мощность, накопленная чувствительным элементом термопары, определяется суммой мощностей конвективного и радиационного теплопереноса:

$$\frac{dQ}{d\tau} = \alpha S(T_C - T) + BS', \quad (1)$$

где  $Q$  – количество тепла, запасенное чувствительным элементом;

$\tau$  – время;

$\alpha$  – коэффициент конвективного теплообмена между чувствительным элементом и средой;

$S$  – площадь поверхности чувствительного элемента;

$T_C$  – температура окружающей среды;

$T$  – температура чувствительного элемента;

$B$  – алгебраическая сумма радиационных потоков, действующих на чувствительный элемент;

$S'$  – площадь поверхности чувствительного элемента, которая подвергается воздействию радиационных потоков.

Формула (2) определяет связь изменения температуры при изменении количества подведенного тепла для твердого тела:

$$dQ = mc \cdot dT, \quad (2)$$

где  $m$  – масса чувствительного элемента;  $c$  – удельная теплоемкость материала.

Так как для большинства случаев измерения температуры промышленными датчиками, установленными в защитные гильзы, то радиационной составляющей можно пренебречь. Это позволит сделать методику более реализуемой с практической точки зрения без серьезного ухудшения точности обработки.

Формула (3) показывает связь формул (1) и (2):

$$\frac{mc}{\alpha S} \cdot \frac{dT}{d\tau} = T_C - T. \quad (3)$$

Коэффициент тепловой инерции определяется формулой

$$\lambda = \frac{mc}{\alpha S}. \quad (4)$$

Используя коэффициент тепловой инерции, определяется формула (5), которая показывает значение температуры измеряемой среды:

$$T_C = \lambda \frac{dT}{d\tau} + T. \quad (5)$$

В общем случае, при изменении технологических параметров агрегата изменение температуры измеряемой среды описывается формулой:

$$T_C = T_{C0} + \gamma\tau, \quad (6)$$

где  $T_{C0}$  – температура среды в начальный момент времени;

$\gamma$  – скорость изменения температуры среды.

Для использования полученных уравнений в реальной системе автоматического управления, построенной на базе ПЛК, необходимо решить две основные проблемы, а именно определить скорость измерения температуры измеряемой среды и тепловую инерцию датчика. Прогнозирование конечного значения температуры через заданный интервал времени с некоторой точностью возможно при определенных параметрах и начальном условии нагрева.

Формула (7) показывает связь формул (5) и (6):

$$\lambda \frac{dT}{d\tau} + T = T_{C0} + \gamma\tau. \quad (7)$$

Скорость изменения температуры определяется формулой (8), которая выводится дифференцированием формулы (7):

$$\gamma = \lambda \frac{d^2T}{d\tau^2} + \frac{dT}{d\tau}. \quad (8)$$

Фактически скорость изменения температуры измеряемой среды для подстановки в формулу (7) определяется блоком дифференцирования в программе ПЛК.

Формула (8) показывает, что для расчета скорости также требуется значение коэффициента тепловой инерции датчика. Коэффициент тепловой инерции  $\lambda$  для термопар определяется экспериментально.

Измерение необходимо выполнять для партии термопар, изготовленных на одном заводе и работающих в одинаковых условиях. В термостат (рис. 2) помещается датчик температуры, который фиксирует конечное значение температуры измеряемой среды. При проведении испытаний фиксируется начальное значение измеренной температуры исследуемой термопары (как правило, это температура воздуха в помещении) и исследуемая термопара помещается в термостат.

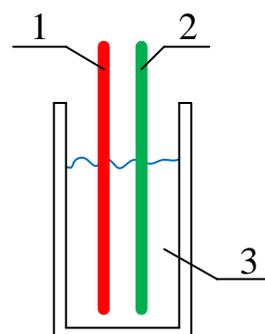


Рис. 2. Лабораторная установка для определения тепловой инерции термопар:

1 – исследуемая термопара; 2 – контрольная термопара; 3 – термостат

Снимается переходная характеристика термопары при реакции на единичное воздействие (рис. 3).

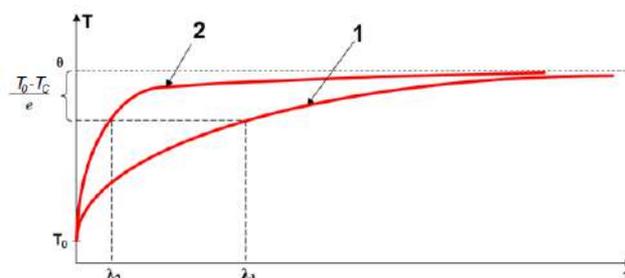


Рис. 3. Изменение измеренных значений исследуемых термопар

Коэффициент  $\lambda$  равен времени  $\tau$ , при котором достигается измеренное исследуемым датчиком значение температуры:

$$T = T_C + \frac{T_0 - T_C}{e}. \quad (9)$$

Подобное значение обусловлено тем, что переходная характеристика имеет экспоненциальную зависимость и может быть описана формулой:

$$T - T_C = (T_0 - T_C) \cdot e^{-\frac{\tau}{\lambda}}. \quad (10)$$

Соответственно, при условии, что  $\tau = \lambda$  определяется формула

$$T - T_C = \frac{T_0 - T_C}{e}. \quad (11)$$

Используя формулы (6) и (8) при известном значении  $\lambda$  контроллер может рассчитать конечное значение температуры [8-10], измеряя динамику нагрева, по формуле

$$T_C = \lambda \frac{dT}{d\tau} + T + (\lambda \frac{d^2T}{d\tau^2} + \frac{dT}{d\tau})\tau. \quad (12)$$

При вычислении конечного значения температуры выбирается период времени, многократно превышающий постоянные времени технологического процесса.

Если в алгоритме необходимо вычислить время, через которое расчетная температура достигнет аварийной или предупредительной границы, то используется формула

$$\tau = \frac{T_{CA} - \lambda \frac{dT}{d\tau} - T}{\lambda \frac{d^2T}{d\tau^2} + \frac{dT}{d\tau}}. \quad (13)$$

Изменение сигнала термопары, в ряде случаев при линейном изменении температуры измеряемой среды, описывается аperiodическим процессом. Следовательно, для определения значения конечной температуры среды в контроллере необходимо вычислить первую производную от изменения температуры (скорость изменения температуры), а при нелинейном нагреве и вторую производную по температуре.

В алгоритм контроллера записывается значение параметра тепловой инерции для каждого канала измерения температуры, а далее, в зависимости от задачи, либо рассчитывается конечное значение измеренной температуры (прогнозное значение), либо время достижения аварийной границы (прогноз времени).

В результате реализации данного алгоритма быстродействие системы регулирования и системы защит повышается на 25-55 секунд в зависимости от исполнения датчика.

### Заключение

Использование программной обработки данных с приборов КИП на уровне ПЛК в ряде случаев позволяет повысить быстродействие системы регулирования и системы технологических защит, что положительно влияет на эффективность и надежность работы оборудования. В качестве продолжения исследования авторы планируют разработать функциональные блок на языке SLC для ПТК Siemens с целью использования алгоритма программной коррекции данных с термопар.

### Список литературы

1. Глухов Д.А. Технические измерения и приборы : учебное пособие. – Воронеж : Воронежская государственная лесотехническая академия, 2009. – 251 с.
2. Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Д.А. Проскурин, А.Л. Коннов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Оренбургский государственный университет, Кафедра управления и информатики в технических системах, Кафедра систем автоматизации производства. – Оренбург : ОГУ, 2016. – Ч. 1. Контрольно-измерительные средства систем автоматизации и управления. – 110 с.
3. Дресвянников А.Ф., Ермолаева Е.А., Петрова Е.В. Физические основы измерений : учеб. пособие / Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технологический университет». – Казань : КГТУ, 2008. – 305 с.
4. Григорьев Б.В., Зайцев Е.В. Метрология и физико-технические измерения: учеб.-метод. пособие. – Электрон. дан. – Тюмень, 2017. – 52 с.
5. Старостин А.А., Лаптева А.В. Технические средства автоматизации и управления : учеб. пособие. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2015. – 168 с. – ISBN 978-5-7996-1498-0.
6. Старостин А.А., Шлеймович Е.М., Лисиенко В.Г. Специальные температурные измерения : учебное пособие / науч. ред. Б.П. Жилкин; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2016. – 168 с. – ISBN 978-5-7996-1825-4.
7. Новикова Е.Н., Серветник О.Л. Компьютерная обработка результатов измерений : учеб. пособие / Министерство образования и науки РФ, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Кавказский федеральный университет». – Ставрополь : СКФУ, 2017. – 182 с.
8. Ткалич В.Л., Лабковская Р.Я. Обработка результатов технических измерений: учеб. пособие. – Элек-

- трон. дан. – СПб.: НИУ ИТМО, 2011. – 72 с.
9. Бастратов В.М. Метрология : учеб. пособие. – Электрон. дан. – Йошкар-Ола : ПГТУ, 2016. – 288 с.
10. Перемитина Т.О. Метрология, стандартизация и сертификация : учеб. пособие / Министерство образования и науки Российской Федерации, Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники (ТУСУР). – Томск : ТУСУР, 2016. – 150 с.

#### Сведения об авторах

**Худяков Павел Юрьевич** – канд. физ.-мат. наук, зав. каф. механики и автоматизации технологических процессов и производств, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма. E-mail: Lumen\_xp@mail.ru.

**Новоселов Алексей Алексеевич** – студ. гр. А-17101, каф. механики и автоматизации технологических процессов и производств, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК» г. Верхняя Пышма. E-mail: 100.1000@list.ru.

**Шевченко Сергей Николаевич** – студ. гр. А-16101, каф. механики и автоматизации технологических процессов и производств, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма. E-mail: SergeyStudent16@yandex.ru.

**Мустафин Алексей Сергеевич** – студ. гр. А-16101, каф. механики и автоматизации технологических процессов и производств, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма. E-mail: mustafin.lexa72@yandex.ru.

УДК 621.771:621.3

## РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СТАЛЬНОГО МЕТАЛЛОЛОМА В СОВКАХ ДЛЯ СКРАПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ 3D-КАМЕРЫ

Бодров Е.Э., Усатый Д.Ю., Бодрова С.И., Кривошеев Д.А.

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

**Аннотация.** В настоящее время кислородно-конвертерный процесс является одним из самых распространенных методов получения стали из жидкого чугуна. Для охлаждения чугуна перед его заливкой в конвертер загружается стальной металлолом; при этом одним из важнейших параметров стального металлолома является его насыпная плотность. От насыпной плотности металлолома зависит как технологическая стабильность конвертерного процесса, так и выход готовой продукции. По этой причине перед загрузкой в конвертер насыпную плотность металлолома в совках для скрапа необходимо контролировать. Вычисление насыпной плотности возможно по таким параметрам, как объем и масса загружаемого металлолома. Кислородно-конвертерный цех оборудован весами для взвешивания совков с металлоломом, что позволяет измерять массу загружаемого металлолома. Более сложной задачей является определение объема металлолома, загруженного в сорок. Для решения этой задачи в кислородно-конвертерном цехе ПАО «ММК» были проведены эксперименты по применению 3D-камеры для измерения объема металлолома. В статье приводится расчет объема стального лома в совке для скрапа и последующий расчет его насыпной плотности. Также предложена структурная схема автоматизированной системы измерения насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием 3D-камеры.

**Ключевые слова:** металлургическая промышленность, печи, измерение объема, 3D-камера, металлолом, насыпная плотность, кислородный конвертер.

### Введение

На сегодняшний день одним из основных процессов производства стали является кислородно-конвертерный процесс. Основную массу шихты при получении стали в конвертере составляет жидкий чугун. Чугун также служит источником тепла в процессе выплавки стали. В процессе конвертерной плавки в качестве охладителя в основном используется стальной металлолом [1]. Применение стального металлолома обусловлено его высокими технологическими характеристиками, а также необходимостью утилизации отходов производства, устаревшего оборудования и т.д.

От насыпной плотности стального лома зависит выход готовой стали и технологическая стабильность конвертерного процесса. Несмотря на то, что массовая доля лома в шихте составляет всего 20-25%, занимаемый им в конвертере объем при малой насыпной плотности больше объема, занимаемого жидким чугуном. При этом образуется слой из охладителя над ванной расплава, что в начальный момент плавки ведет к интенсификации процесса окисления железа из состава металлошихты. В свою очередь, это ведет к испаре-

нию железа из конвертера в виде пыли, ухудшая экологическую обстановку и снижая выход готовой жидкой стали [2].

Известно, что ход конвертерной плавки, ее технико-экономические показатели, степень воздействия на окружающую среду и качество получаемого металла определяются физико-химическими характеристиками материалов-охлаждателей, их распределением в рабочем объеме, а также способа их загрузки в сталеплавильный агрегат [3].

Насыпная плотность металлолома может варьироваться в широких пределах. Высокая степень влияния значения насыпной плотности на технологический процесс выплавки стали в конвертере ведет к необходимости контроля значения плотности металлолома перед его загрузкой в конвертер.

Используя информацию об объеме и массе стального лома в погрузочных совках, можно определить насыпную плотность металлолома. Определение массы металлолома производится при помощи специализированных весов, которыми оборудован конвертерный цех; однако оборудования для определения объема загружаемого металлолома в цеху не существует.

По этой причине возникла необходимость в проведении научно-исследовательской работы с целью проверки возможности определения размеров объектов при помощи 3D-камеры, а именно была поставлена задача поиска объема стального металлолома, загруженного в совок для скрапа.

На текущий момент существуют различные способы измерения геометрических размеров и объема объектов [4-16]. Для этой цели была применена 3D-камера производства компании ifm модели ОЗМ-150 [17].

Объектом измерения являлся металлолом в погрузочных совках в условиях кислородно-конвертерного цеха (ККЦ) ПАО «ММК». Для реализации проекта на ККЦ была смонтирована камера ОЗМ-150 над местом остановки совков для скрапа, после чего произведена её настройка и позиционирование. Для получения данных с камеры и распознавания размеров 3D-образов находящегося в совке металлического лома была обеспечена программная реализация функционала. Также для расчета плотности лома необходимо получение из автоматизированной системы управления (АСУ) цеха массы металлолома в совке и номер совка.

### Описание экспериментальных исследований

Эксперимент в кислородно-конвертерном цеху ПАО «ММК» был разбит на два этапа [18, 19]. Первый этап заключался в установке камеры на отметке +12 м таким образом, чтобы зона видимости охватывала весь совок, а также получение данных с камеры.

При помощи камеры ОЗМ-150 были произведены замеры расстояния  $x_i$  от плоскости, в которой расположена камера до отдельных точек (пикселей) на поверхности металлолома в совке (рис. 1).

На высоте +12 м на технологической площадке ККЦ в воздухе присутствует значительное количество графитовой пыли. Этот факт оказал негативное влияние на эксперимент и ухудшил результаты измерений: около двадцати процентов пикселей имели нулевые значения. Помимо ухудшения условий измерений, пыль также оседает на объектив камеры и устройство подсветки, что ведет к ухудшению работы оборудования. С целью устранения этого негативного эффекта необходимо обеспечить защиту оптики камеры и подсветки, а также обдув с целью устранения загрязнений в виде оседающей пыли.

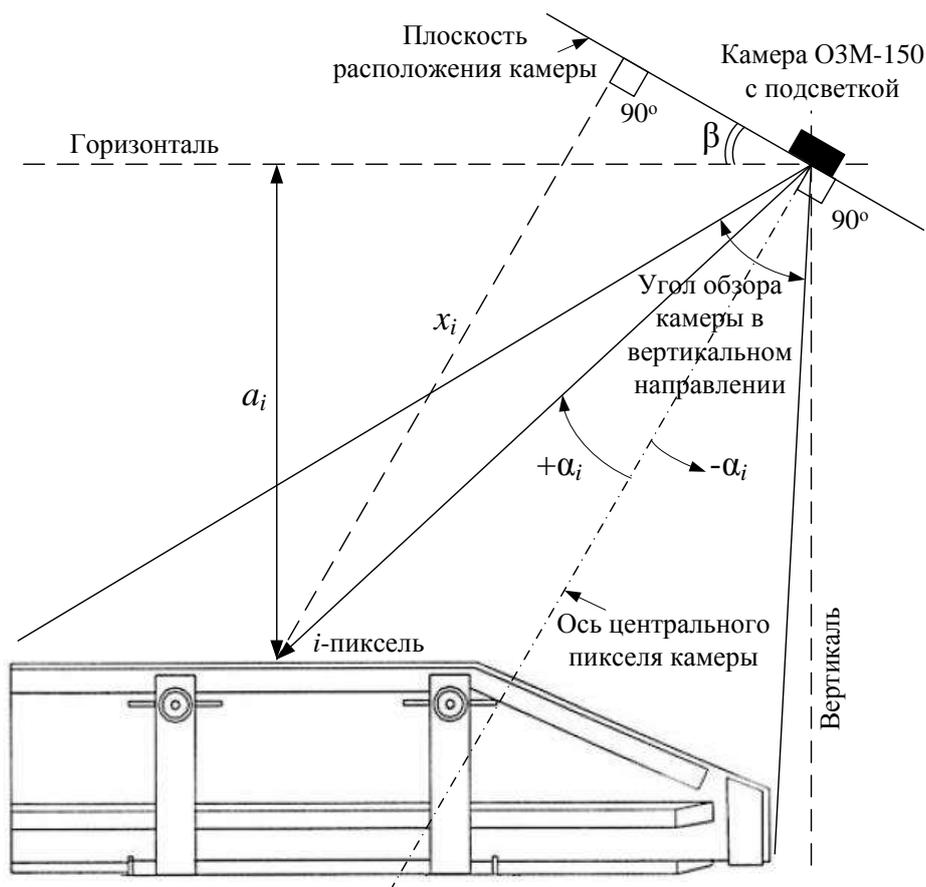


Рис. 1. Экспериментальная установка для измерения объема

Было принято решение провести повторный эксперимент в скрапном отделении на отметке +9 м. Высоты данной площадки оказалось недостаточно для охвата всего совка, поэтому производилась съемка лишь части совка.

### Математическая обработка экспериментальных данных

Была произведена математическая обработка измерений, заключающаяся в пересчете значений расстояния в значения высоты металлолома в совке (см. рис. 1). Этот процесс был произведен в два шага: сначала расстояние  $x_i$  было преобразовано к более удобному для расчетов расстоянию  $a_i$  от горизонтальной плоскости, в которой находится камера, до поверхности металлолома; затем была определена высота поверхности загруженного металлолома от дна совка.

Затем, рассчитав усредненное положение дна совка, можно определить значение высоты загруженного металлолома для каждого из попадающих на поверхность металлолома пикселей.

В результате обработки данных получены значения высот поверхностей лома (рис. 2). Нулевой уровень соответствует рассчитанному положению дна совка с учетом его округлости, отрицательные значения говорят о выходе пикселя за границу совка.

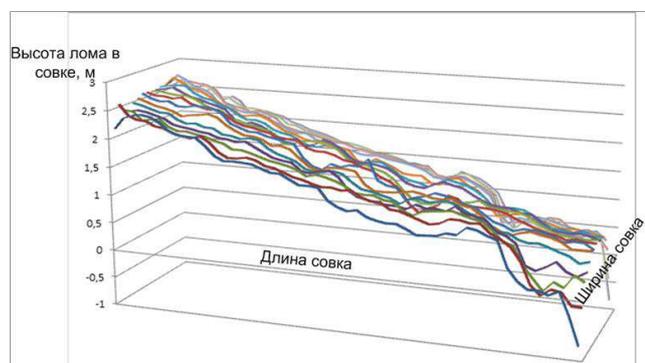


Рис. 2. Рассчитанная высота лома в совке

Чтобы рассчитать объем металлолома, необходимо опустить перпендикуляры от каждого пикселя к горизонтальной поверхности до пересечения с уровнем дна совка и просуммировать объемы полученных фигур, подобных параллелепипеду.

### Разработка автоматизированной системы измерения насыпной плотности металлолома в совке для скрапа

На основе анализа математической обработки экспериментальных данных была разработана структурная схема автоматизированной системы измерения насыпной плотности стального метал-

лического лома в совке для скрапа в рабочем режиме (рис. 3).

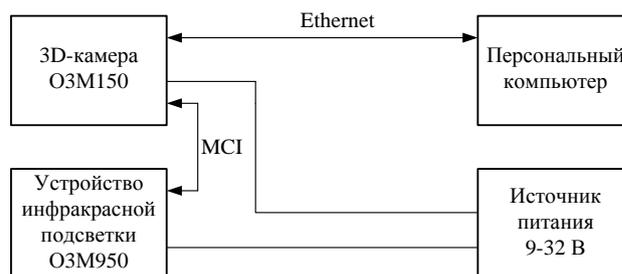


Рис. 3. Структурная схема системы в рабочем режиме

Для получения данных от камеры ОЗМ150 на персональный компьютер или ноутбук используется интерфейс Ethernet. Для питания системы может быть использован источник питания с выходным напряжением 12/24 В и мощностью 75 ВА.

### Заключение

В результате произведенных опытов и выполненных расчетов был сделан вывод об успешности эксперимента. При обеспечении достаточной высоты 3D-камеры над совком с целью охвата всей площади совка, а также с применением средств защиты оптики и обдува объектива камеры возможно измерение объема металлолома в совке с достаточной точностью. Ошибка, вносимая измерительной системой, не превышает 5%.

Используя полученное значение объема металлолома, а также значение массы металлолома, получаемое от АСУ цеха, может быть рассчитана величина его насыпной плотности. На основе анализа математической обработки экспериментальных данных была разработана структурная схема автоматизированной системы измерения насыпной плотности стального металлолома в совке для скрапа.

### Список литературы

1. Колесников Ю.А., Бигеев В.А., Сергеев Д.С. Расчет технологических параметров выплавки стали в конвертере с использованием различных охладителей // *Металлургия стали*. – 2014. – №2(15). – С. 45-48.
2. Макарова Е.А., Перистый М.М. Проблемы конвертерного производства стали и пути решения дефицита металлолома // *Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. докладов XXIII Всеукраинской научной конференции аспирантов и студентов*. – Донецк: ДонНТУ, ДонНУ, 2013. – Т.2. – С. 158-159.
3. Шелягович А.В. Разработка режимов формирования металлозавалки в кислородном конвертере с применением композиционных материалов и исследование их влияния на технологические показатели выплавки стали: дис. ... канд. техн. наук. – М., 2005. – 211 с.

4. T. Möller, H. Kraft, J. Frey, M. Albrecht and R. Lange, "Robust 3D measurement with PMD sensors," Proceedings of the 1st Range Imaging Research Day at ETH, Zurich, Switzerland, 2005.
5. Q. Xu, Y. Huang, L. Xing, Z. Tian, Z. Fei and L. Zheng, "A Fast Method to Measure the Volume of a Large Cavity A Fast Method to Measure the Volume of a Large Cavity," IEEE Access, 2015, pp. 1555 – 1561. DOI: 10.1109/ACCESS.2015.2476661.
6. Y. D. Chincholkar and S. Bangadkar, "A Review of ToF PMD Camera," International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, vol. 4, Issue 5, 2015, pp. 4142-4149. DOI: 10.15662/ijareeie.2015.0405058.
7. Патерикин В.И. Оптические методы зондирования для наголовных средств измерения пространственных параметров поверхности трехмерных предметов в реальном времени // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – №2. – С. 44-48.
8. Крысин Д.Ю., Небылов А.В. Применение время-пролетных PMD-камер для определения дальности до водной поверхности // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №2 (84). – С. 33-39.
9. Рутковский В.О., Рутковская М.А. Метод получения трехмерных цифровых моделей технических объектов, основанный на применении искусственных текстур // Вестник СибГАУ. – 2010. – №5. – С. 249-254.
10. G. Berkovic and E. Shafir, "Optical methods for distance and displacement measurements," Advances in Optics and Photonics 4, 2012, pp. 441–471. DOI: 10.1364/AOP.4.000441.
11. Y. R. Huddart, "Non-contact free-form shape measurement for coordinate measuring machines," dissertation, Heriot-Watt University, 2010.
12. Складенко М.С. Оценка точности методов трекинга для определения 2D-координат и скоростей механических систем по данным цифровой фотосъемки // Компьютерная оптика. – 2015. – №1. – С. 125-135.
13. Борминский С.А., Солнцева А.В., Скворцов Б.В. Метод оптоэлектронного контроля жидкости в резервуаре // Компьютерная оптика. – 2016. – Т. 40. – №4. – С. 552-559.
14. M. Wilczkowiak, E. Boyer and P. Sturm, "Camera Calibration and 3D Reconstruction from Single Images Using Parallepipeds," 8th International Conference on Computer Vision (ICCV '01), Vancouver, Canada. IEEE Computer Society, 1, pp.142-148, 2001.
15. A. Criminisi, I. Reid and A. Zisserman, "Single View Metrology," University of Oxford, 1999.
16. X. Luan, "Experimental investigation of Photonic Mixer Device and development of TOF 3D ranging systems based on PMD technology," dissertation, University of Siegen, 2001.
17. ОЗМ150. Фотозлектрические датчики для распознавания объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ifm.com/products/ru/ds/O3M150.htm> (дата обращения 05.05.2016).
18. Панов А.Н., Бодров Е.Э., Бодрова С.И., Михеева В.О. Использование эталонного измерения пустого совка при расчете объема металлолома в нем с помощью 3D-камер // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – №2(39). – С. 57-62.
19. Расчет насыпной плотности стального металлолома в совках для скрапа с использованием трехмерной камеры / Е.Н. Ишметьев, Д.В. Чистяков, А.Н. Панов, Е.Э. Бодров, Д.В. Рабаджи // Черные металлы. – 2017. – №4. – С. 22-28.

#### Сведения об авторах

**Бодров Евгений Эдуардович** – канд. техн. наук, доц. каф. электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [fortheartist@mail.ru](mailto:fortheartist@mail.ru).

**Усатый Дмитрий Юрьевич** – канд. техн. наук, доц., каф. электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Бодрова Снежана Ивановна** – студ., каф. электроники и микроэлектроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

**Кривошеев Денис Артемович** – студ., ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [krivosheev.d@konsom.ru](mailto:krivosheev.d@konsom.ru).

УДК 621.315

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ РУДНИЧНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Ковалев А.А.<sup>1</sup>, Старцев И.М.<sup>1,2</sup><sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС), г. Верхняя Пышма<sup>2</sup> НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам организации систем электроснабжения рудничного электровозного транспорта (РЭТ) горнорудных промышленных предприятий. Описана система электроснабжения (СЭС) электровозного транспорта от главной понизительной подстанции предприятия до контактной сети, приведена однолинейная схема участка электроснабжения, отмечены особенности СЭС.

Описана методика инструментального исследования режимов работы системы электроснабжения РЭТ, которая была разработана для проведения данного исследования. Обозначены решенные и нерешенные проблемы электровозного транспорта, выявленные при эксплуатации.

Особое внимание уделяется показателям качества электрической энергии, которые были установлены при проведении измерений: гармонический состав тока и напряжения, кратковременная и длительная доза фликера.

**Ключевые слова:** система электроснабжения, качество электрической энергии, надежность, электрооборудование, рудничный электровозный транспорт.

Рудничный электровозный транспорт является неотъемлемой частью технологического процесса транспортировки руды (породы) на ряде промышленных горнорудных предприятий. От надежности устройств электроснабжения зависит бесперебойная работа электровозного транспорта.

Вопросы эксплуатации и организации работы рудничного транспорта исследовались различными авторами [1, 2].

Система электроснабжения рудничного электровозного транспорта имеет свои особенности:

- расположение электровозной откатки на различных горизонтах подземных рудников влечет за собой размещение тяговых подстанций на данных горизонтах, то есть в непосредственной близости к «нагрузке» (электровозам);

- одновременно в работе может находиться различное количество электровозов;

- различная протяженность контактной сети;

- уровень напряжения в контактной сети – 275 В (постоянного напряжения – DC).

Однолинейная схема участка электроснабжения электрифицированного рудничного транспорта подземного рудника приведена на рис. 1.

На поверхности подземного рудника располагается главная понизительная подстанция (ГПП), далее по линиям напряжением 6 кВ «питаются» участковые понизительные подстанции (УПП). От УПП также по линиям 6 кВ питаются тяговые

подстанции, которые представляют собой комплекс, состоящий из силового трансформатора и выпрямительного агрегата тяговой подстанции АТП-500. И на «выходе» АТП – в контактной сети – напряжение 275 В. В качестве аппаратов защиты используются различные автоматические фидерные выключатели и разъединители. Также выпрямительный агрегат комплектуется различными микропроцессорными защитами, в частности токовыми отсечками и максимальными токовыми защитами.

При эксплуатации рудничных электровозов был выявлен ряд проблем. Во-первых, несовершенная система токосъема, которая заключается в том, что токоприемник в заводской конструкции электровоза опускается недостаточно низко. Это связано с тем, что в шахте имеются участки, где электровоз должен проезжать с опущенным токоприемником: участки с вентиляционными перемиками и рудоспуски. Также при движении электровозов возникает искрообразование, что приводит к потерям электроэнергии и нестабильной работе электропривода.

Путем доработки конструкции токоприемника электровоза К-10 заводского исполнения службы эксплуатации различных предприятий решили проблему проезда электровоза по сложным участкам, но проблему искрообразования решить не удалось, что негативно сказывается на работе электропривода электровоза.

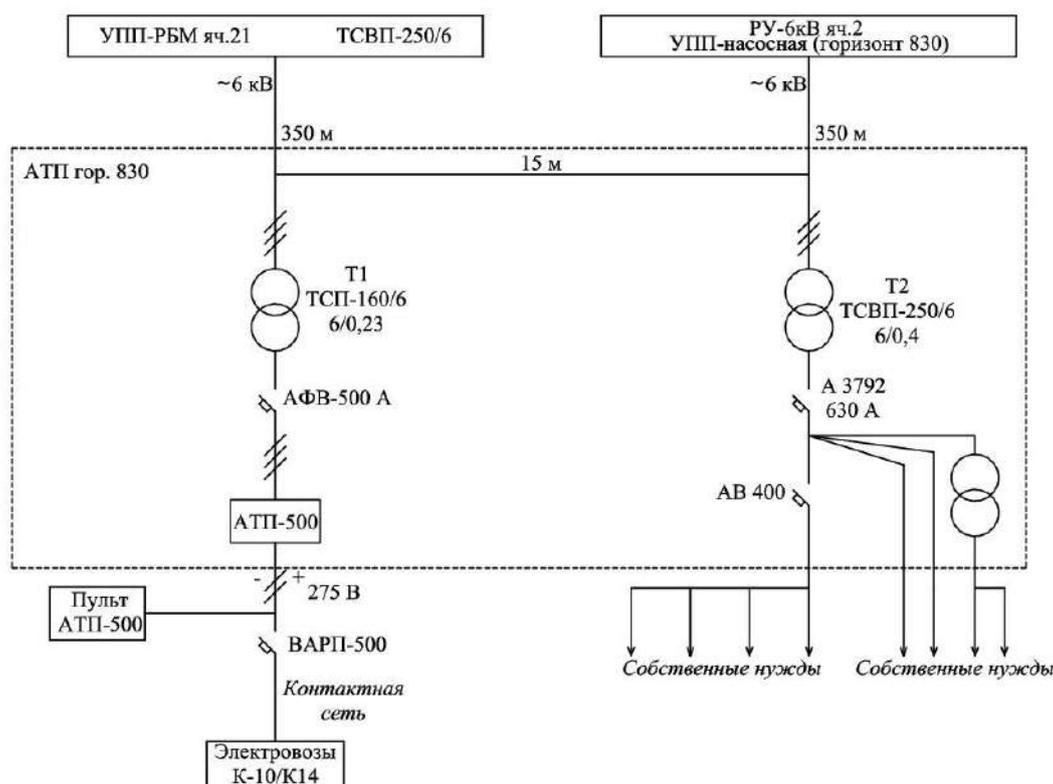


Рис. 1. Однолинейная схема участка электроснабжения электрифицированного рудничного транспорта

Другой проблемой системы электроснабжения (СЭС) является отсутствие на тяговых подстанциях системы ограничения перенапряжения, что приводит к тому, что вместо заданного напряжения 275 В (DC) в сети происходят существенные отклонения в большую сторону.

Учитывая сложность СЭС крупного промышленного предприятия и наличие различных по назначению приемников электрической энергии, было проведено исследование качества электрической энергии РЭТ.

Исследование проводилось на вводе автоматизированной тяговой преобразовательной установки АТПУ-500/275. Прибор для измерения качества электрической энергии – Fluke 435 series II [3]. Анализ показателей качества электрической энергии проводился по ГОСТ 32144-2013 [4].

Известны различные методики исследования режимов работы систем электроснабжения [5, 6]. Для проведения исследования была разработана методика инструментального исследования режимов работы системы электроснабжения РЭТ:

1. Определяются узлы, где необходимо провести измерения. В рассматриваемом случае на первичной и вторичной обмотках силового трансформатора, на «выходе» выпрямительного агрегата.

2. Обосновывается и выбирается приборное обеспечение.

3. Было определено, что приборы на обмотках трансформатора должны обеспечивать измерения мгновенных значений  $I$ ,  $U$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ , гармонического состава тока и напряжения, а также основных энергетических показателей. На выходе выпрямительного агрегата:  $I$ ,  $U$ . В связи с данными параметрами был выбран анализатор качества электрической энергии и токовые клещи.

4. Исследуются различные режимы работы СЭС РЭТ:

а) Нормальные (установившиеся) режимы работы (режим холостого хода и режим во время работы электровоза) – измерения проводятся несколько раз в течение смены, в течение суток.

б) Аварийные режимы: в первую очередь определение токов утечки, растекание тока в земле. Были установлены утечки на землю в различных точках величиной до 10 А.

В дальнейшем планируется развивать методику и определять параметры СЭС ЭРТ при внутренних повреждениях трансформатора и АТП, при перегрузках ЭВЗ, при коротких замыканиях в кабельной линии и контактной сети.

По результатам измерений установлены:

- Глубокие просадки напряжения во время работы РЭТ (на рис. 2 ниже представлены действующие значения тока и напряжения во время работы электровоза).

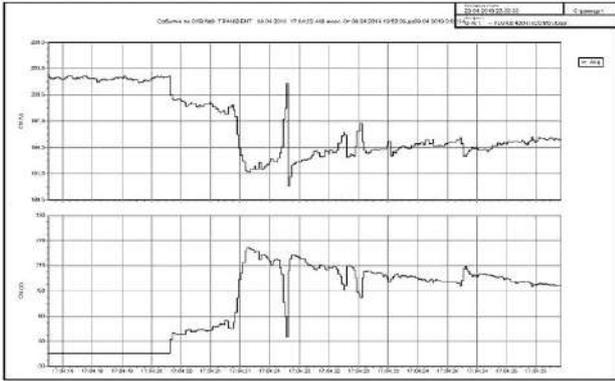


Рис. 2. Просадки напряжения во время работы РЭТ

- Отклонение кратковременной и длительной дозы фликера (представлено на рис. 3).

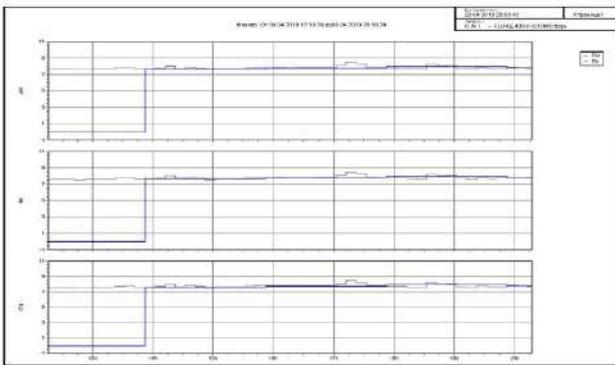


Рис. 3. Отклонение кратковременной и длительной дозы фликера

- Генерация высших гармоник тока нелинейными потребителями, что приводит к высокому коэффициенту несинусоидальности  $I$  ( $\text{THD} = 20\%$ ), что, в свою очередь, приводит к возникновению несинусоидальности  $U$  ( $\text{THD} = 10\%$ ) (рис. 4).

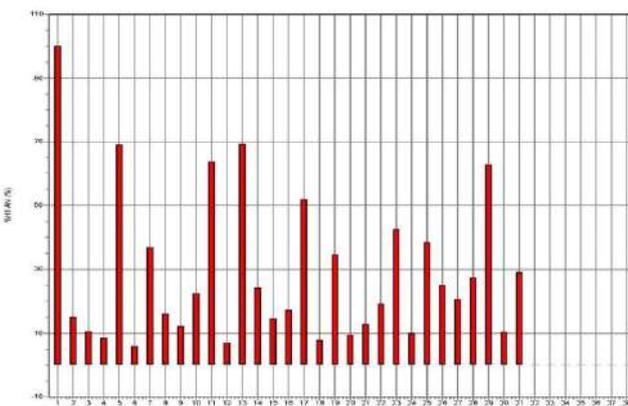


Рис. 4. Гистограмма гармоник тока, генерируемых агрегатом тяговой подстанции

Осциллограммы тока и напряжения во время работы электровоза приведена на рис. 5.

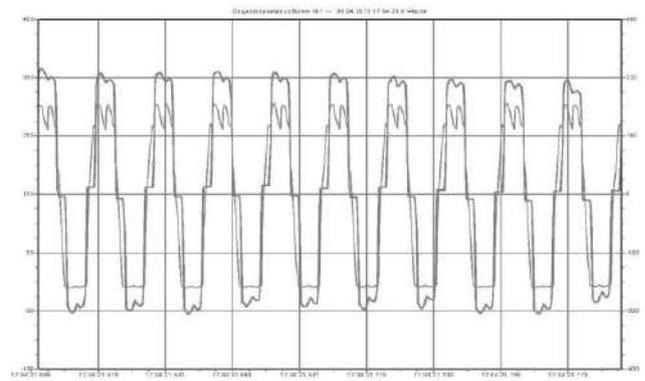


Рис. 5. Осциллограммы тока и напряжения при работе электровоза

Значение коэффициента мощности в течение суток изменялось в пределах 0,8–0,85.

При исследовании работы РЭТ было установлено, что при снижении напряжения в контактной сети происходит падение скорости электровоза. Также установлено, что возникают потери электроэнергии из-за реостатного регулирования скорости движения электровоза.

Указанные недостатки приводят к простоям электровозов по причинам ремонтов. Это «говорит» о том, что электропривод не соответствует современным требованиям. В связи с этим предполагается обосновать замену электропривода постоянного тока с реостатным регулированием на электропривод по системе «полупроводниковый преобразователь постоянного тока – двигатель постоянного тока» (ПППТ - Д) для оптимального управления всеми режимами работы электровоза: плавный пуск, торможение и регулирование скорости [7, 8].

Краткие результаты по проведенному исследованию СЭС ЭРТ:

1. Измерены параметры качества электрической энергии на вторичной обмотке силового трансформатора (на входе выпрямительного агрегата), установлено что некоторые параметры качества электрической энергии не соответствуют требованиям.
2. Определена несовершенная система токо-съемы.
3. Установлено, что имеются токи утечки в контактной сети.

Следующие этапы работы:

- Продолжать экспериментальные исследования качества электрической энергии РЭТ.
- Разработать комплексную защиту тяговой подстанции для защиты от токов утечек в контактной сети.
- Разработать современную систему автоматизированного электропривода электровоза на базе IGBT-транзисторов [8, 9].

## Список литературы

1. Вирабов А.А. Рудничный транспорт. – М.: Недра, 1971. – 344 с.
2. Пухов Ю. С. Рудничный транспорт: учебник. – М.: Недра, 1983.
3. Fluke 434/435 Анализатор качества электроэнергии трехфазных сетей. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lib.chipdip.ru/108/DOC001108924.pdf>, свободный.
4. ГОСТ 32144-2013. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
5. Мукани Эме Борис. Режимы работы систем электроснабжения объектов нефтегазовых месторождений: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03 / Мукани Эме Борис; [Место защиты: Рос. гос. ун-т нефти и газа им. И.М. Губкина]. – Москва, 2011. – 165 с.: ил. РГБ ОД, 61 12-5/279.
6. Рылов Ю.А. Расчет режимов работы систем электроснабжения и определение долевого вклада потребителей в показатели качества электроэнергии при наличии несинусоидальных нагрузок: дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. – Казань, 2006. – 152 с.: ил. РГБ ОД, 61 06-5/3664
7. Коржев А.А. Повышение тяговых свойств рудничного электровоза за счет применения комбинированного привода: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова. – Санкт-Петербург, 2004. – 20 с.
8. Лычагин А.Г. Особенности управления автономным инвертором напряжения на IGBT-транзисторах для тягового асинхронного привода: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.09.03. / Петербургский государственный университет путей сообщения. – Санкт-Петербург, 2004. – 24 с.
9. Автушенко К.С., Попов А.А., Попов С.А. Построение частотно-регулируемых электроприводов средней мощности на основе электронных компонентов, производимых International Rectifier // Силовая электроника. – Санкт-Петербург: Изд-во ООО «Медиа КиТ», 2014 – С. 51-56.

## Сведения об авторах

**Старцев Иван Михайлович** – аспирант, каф. электроснабжения транспорта, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС), г. Верхняя Пышма; зав. лабораторией, кафедры энергетика, НЧОУ ВО «Технический университет УГМК», г. Верхняя Пышма. E-mail: starstevivan@mail.ru.

**Ковалев Алексей Анатольевич** – канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой электроснабжения транспорта, ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения» (УрГУПС), г. Верхняя Пышма. E-mail: akovalev@usurt.ru.

УДК 621.3

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НЕСИНХРОННОГО АПВ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Соколов А.П., Газизова О.В.

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

**Аннотация.** Основной тенденцией современной промышленной электроэнергетики является усиление промышленными предприятиями собственной энергетической базы. В качестве источников используются тепловые, газотурбинные, газопоршневые и парогазовые установки установленной мощностью до десятков мегаватт. Сопутствующее усложнение конфигурации электрических сетей изменяет задачи оперативно-диспетчерского персонала по ведению режимов и не исключает выхода электростанции с нагрузкой на раздельную работу. Способы восстановления нормального режима зависят от большого количества факторов, в том числе причины отделения от энергосистемы, рода первичных двигателей, мощности генератора и нагрузки, применяемых средств автоматического регулирования. Основным способом ввода генераторов в параллельную работу с энергосистемой является точная синхронизация каждого генератора по отдельности, что не всегда является обоснованным и повышает простои электрооборудования. В данной статье исследована возможность применения несинхронного автоматического повторного включения в условиях промышленной электростанции с местной нагрузкой. Выполнен анализ влияния небаланса активных и реактивных мощностей с энергосистемой на успешность действия автоматики. Исследования проводились с помощью оригинального программного комплекса «КАТРАН», основанного на методах последовательных интервалов и последовательного эквивалентирования и позволяющего производить расчеты переходных электромеханических процессов.

**Ключевые слова:** результирующая устойчивость, трехфазный синхронный генератор, раздельная работа, ресинхронизация, тепловая промышленная электростанция, несинхронное автоматическое повторное включение.

### Введение

Сложность, энергоемкость, а также повышенные требования к бесперебойности и надежности электроснабжения потребителей приводят к увеличению количества источников распределенной генерации, а также к усложнению конфигурации электрической сети энергорайона. Таким образом, сети 110 кВ переходят в разряд распределительных, что увеличивает электрическую удаленность от энергосистемы, а также снижает мощность и токи короткого замыкания. Внедряемые источники электроэнергии могут быть различных типов [1]. Отметим, что суммарные мощности промышленных синхронных генераторов могут составлять несколько сотен мегаватт. В работах [2], [3] рассматриваются вопросы управления энергоносителями и получение экономико-математических моделей турбогенераторов промышленных тепловых и газопоршневых электростанций с целью оптимизации нормального режима системы электроснабжения. Особое внимание стоит обратить на то, что усложняется изучение и анализ аварийных режи-

мов. Повышению статической и динамической устойчивости посвящены работы отечественных ученых [4–7].

### Теоретические методы исследования

Одним из наиболее тяжелых режимов является выход электростанции на раздельную работу с энергосистемой в связи с протеканием больших токов короткого замыкания, а также с недопустимым увеличением или снижением промышленной частоты. Данные процессы сопровождаются простоем оборудования и экономическим ущербом для предприятия [8, 9]. В таких режимах стоит особое внимание уделить следующим вещам: сохранение устойчивости вышедшего на раздельную работу узла, а также восстановление нормальной параллельной работы с энергосистемой. Одним из способов разрешения данных проблем является быстрое несинхронное АПВ отделившейся электростанции с нагрузкой после наступления некоторого установившегося режима как в питающей сети, так и отделившемся узле. Оценка применимости данного вида автоматики достаточно сложна: требуется оценка кратности токов короткого замыкания, протекающих по тем или

иным присоединениям, а также моментов, возникающих на валу синхронных машин. Это требует применения соответствующего программного обеспечения для расчета длительных переходных режимов. Особую сложность составляет проведение данных операций при одновременной работе других видов автоматики промышленных генераторов, таких как регуляторы скорости и регуляторы возбуждения. Таким образом, для решения о допустимости того или иного вида несинхронного АПВ должна быть проведена серия соответствующих расчетов при условии минимальной мощности короткого замыкания питающего узла и выданы соответствующие рекомендации оперативно-диспетчерскому персоналу.

В общем случае различают два вида НАПВ [10]. Наиболее простым является быстродействующее, когда производится повторное подключение до первого проворота относительно вектора напряжения сети. Второй вид подразумевает ресинхронизацию при различных установившихся частотах в участках сети, включаемых в параллель. Допустимость применения НАПВ на промышленных электростанциях должна быть подтверждена соответствующими расчетами.

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий разработан программный комплекс «КАТРАН» для расчета переходных электромеха-

нических процессов с учетом действия релейной защиты и автоматики [11].

Анализ возможности применения БАПВ производился на примере промышленной электростанции, подключенной к энергосистеме посредством шин 110 кВ. Мощность короткого замыкания питающей энергосистемы принята 5500 МВА. В качестве примера рассматривался выход на раздельную работу по шинам 110 кВ электростанции, показанной на рис. 1, имеющей в своем составе источники питания различной установленной мощности.

Отделение происходило путем отключения соответствующих выключателей, показанных на рисунке. Как показали расчеты, все генераторы имеют предельные номинальные показатели короткого замыкания, превышающие токи и моменты, полученные в результате расчета. Таким образом, можно судить о применимости НАПВ для промышленных синхронных генераторов. Аналогичные расчеты по применению допустимости БАПВ на рассматриваемой промышленной электростанции были проведены для силовых трансформаторов. Таким образом, токи, которые может выдержать силовой трансформатор, более чем в два раза превышают настоящие токи. Таким образом, БАПВ применимо для данных трансформаторов.

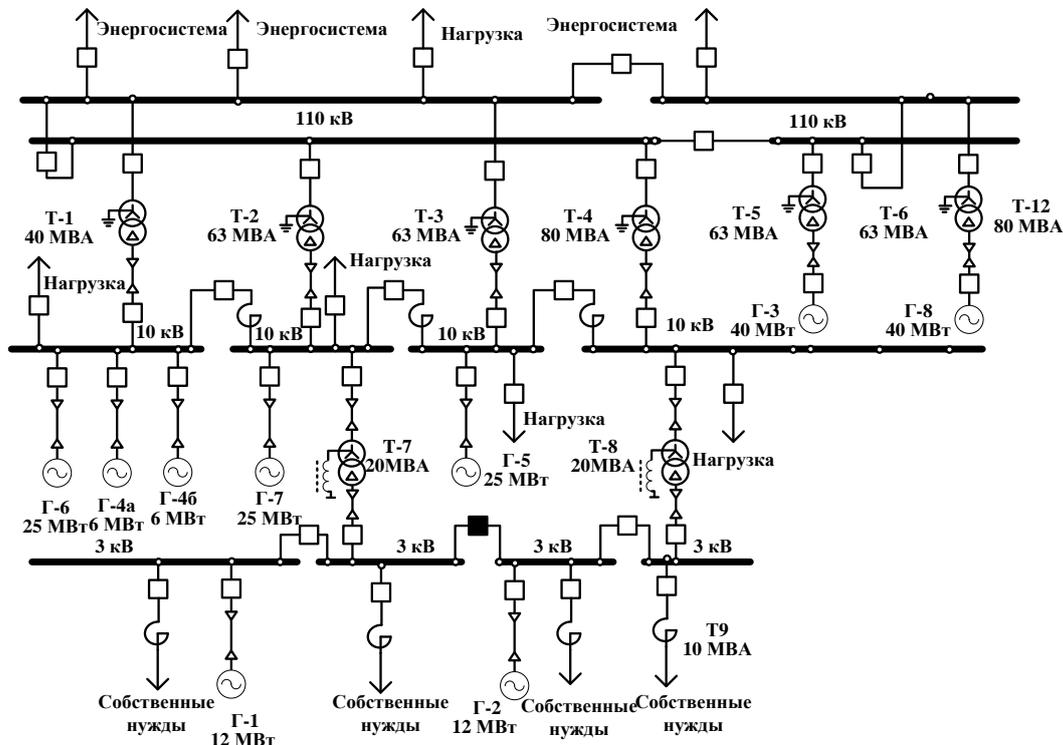


Рис. 1. Схема промышленной ТЭЦ

### Влияние небаланса мощностей на валу на действие несинхронного АПВ на промышленной электростанции

Фактически промышленная электростанция может выйти на раздельную работу в одном из трех режимов: при балансе мощностей на шинах связи с энергосистемой, при избытке и дефиците мощности. В первом случае нагрузка на генераторы электростанции покрывает всю выделившуюся нагрузку, во втором случае выработка превышает потребление, а избыток отдается в сеть. В третьем случае нагрузка получает питание не только от генераторов, но и от энергосистемы. Фактически небаланс мощности с энергосистемой при выходе на раздельную работу ложится на генераторы, то есть его можно назвать небалансом мощностей на валу. Особое внимание стоит обратить на то, что при каждом из этих случаев автоматика работает совершенно по-разному. Таким образом, рассмотрим каждый из этих режимов (рис. 2-4), проанализируем работу автоматики, а также сделаем соответствующие выводы. Отметим, что время действие НАПВ для каждого случая будет одинаково – 2 с. На рис. 2 представлен выход электростанции на раздельную работу при балансе активной и реактивной мощностей.

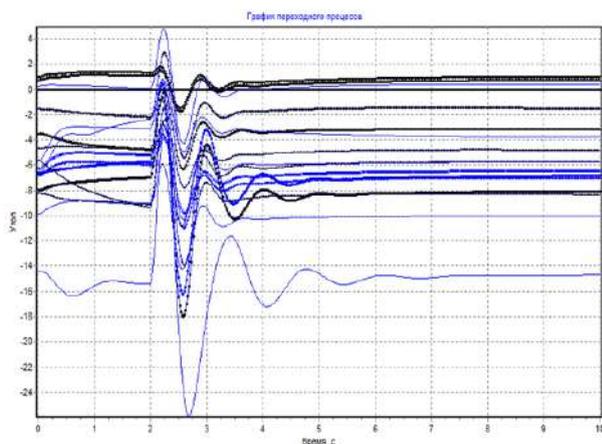


Рис. 2. Собственные углы генератора при балансе мощностей на валу

Согласно рис. 2 все генераторы сохранили устойчивость, причем генератор Г-1 имеет максимальный заброс угла  $-25$  градусов вследствие большой электрической удаленности от точки выхода на раздельную работу. АРВ и регулятор скорости сработали плавно, что также способствовало плавности переходного процесса.

На рис. 3 представлен выход электростанции на раздельную работу при дефиците активной и реактивной мощностей,  $P = 70$  МВт,  $Q = 12$  МВАр. Дефицит мощностей наблюдается относительно генератора: потребляемая мощность больше вырабатываемой. Так как узел был дефицитным, то

скорость ротора станет меньше номинальной. Поэтому при срабатывании регуляторов скорости генераторы не так быстро набирали скорость. При данных условиях всего 5 генераторов, выпавших из синхронизма.

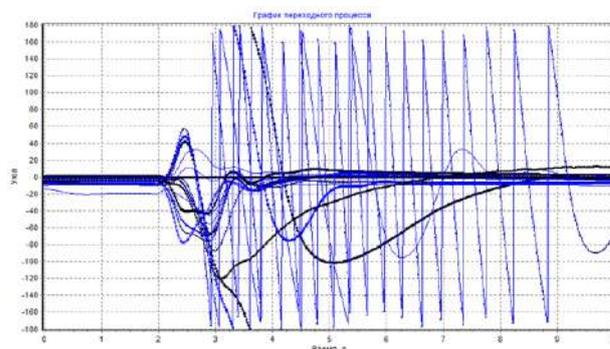


Рис. 3. Собственные углы генератора при дефиците мощностей на валу

На рис. 4 представлен выход электростанции на раздельную работу при избытке активной и реактивной мощностей,  $P = -92$  МВт,  $Q = -10$  МВАр. Избыток мощностей наблюдается относительно генератора: потребляемая мощность меньше вырабатываемой. Поскольку узел был избыточным, то скорость ротора была больше номинальной. Поэтому при выходе на раздельную работу генераторы разгонялись, а после включения на параллельную работу с сетью их скорость оказалась довольно большой, о чем нам и говорит рис. 4, согласно которому только четыре генератора не выпали из синхронизма, причем еще два генератора сохранили результирующую устойчивость.

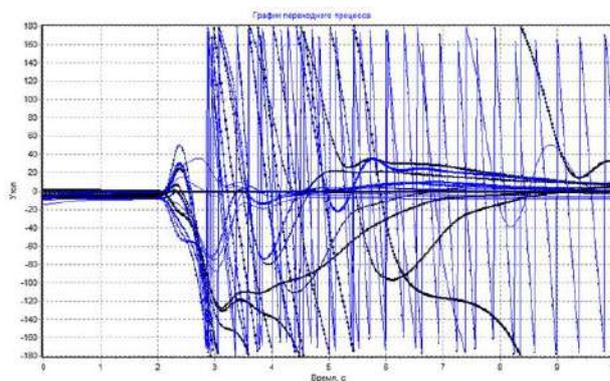


Рис. 4. Собственные углы генератора при избытке мощностей на валу

Таким образом, наилучшие условия синхронизации имеют место при соблюдении баланса мощностей, поскольку изменение частоты выделившегося узла относительно энергосистемы минимально. Более худшие условия при избыточном узле. Наиболее тяжелые условия для действия НАПВ имеют место при дефиците активной и реактивной мощности.

### Заключение

Полученные результаты показывают, что успешность применения НАПВ на промышленных электростанциях существенно зависит от величины баланса мощностей с энергосистемой перед выходом на раздельную работу. Чем меньше небаланс, тем больше вероятность успешного НАПВ. При небалансе мощностей, близком к нулю, частота отделившегося узла близка к номинальной, изменение углов незначительно. Поэтому БАПВ может быть успешным и через несколько секунд. Увеличение небаланса мощностей снижает время успешности НАПВ. Причем наихудшая устойчивость при равной величине небаланса соответствует узлу, дефицитному по активной мощности.

### Список литературы

1. Кимбарк Э. Синхронные машины и устойчивость электрических систем. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 392 с.
2. Малафеев А.В., Игуменцев В.А., Хламова А.В. Получение экономико-математических моделей турбогенераторов промышленных электростанций с целью оптимизации режима системы электроснабжения // Электротехнические комплексы и системы управления. – 2009. – № 4. – С. 34-38.
3. Построение технико-экономических моделей турбогенераторов и котлоагрегатов собственных электростанций промышленных предприятий / А.В. Кочкина, А.В. Малафеев, Н.А. Курилова, Р.П. Нетупский // Электротехнические системы и комплексы. – 2013. – № 21. – С. 247-252
4. Николаев А.А., Ивекеев В.С., Ложкин И.А. Анализ провалов напряжения в районных электрических сетях 380 кВ провинций Хатай и Адана Турецкой Республики // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2018. – Т. 16. – № 1. – С. 61-70.
5. Жданов П.С. Вопросы устойчивости энергетических систем / под ред. Л.А. Жукова. – М.: Энергия, 1979. – 456 с.
6. Казовский Е.Я. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. – М.-Л.: Изд-во Академии наук СССР, 1962. – 625 с.
7. Ковач К.П., Рац И. Переходные процессы в машинах переменного тока.– М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.
8. Газизова О.В., Малафеев А.В., Кондрашова Ю.Н. Определение предельных параметров режимов для обеспечения успешной ресинхронизации объектов распределенной генерации в условиях предприятия черной металлургии // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2016. – Т. 16. – № 4. – С. 12-22.
9. Ротанова Ю.Н., Малафеев А.В., Буланова О.В. Исследование динамической устойчивости систем электроснабжения промышленных предприятий с собственными электростанциями при отделении от энергосистемы в результате короткого замыкания // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2008. – № 17 (117). – С. 72-74.
10. Хачатуров, А.А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1977.
11. Газизова О.В., Кондрашова Ю.Н., Малафеев А.В. Повышение эффективности управления режимами электростанций промышленного энергоузла за счет прогнозирования статической и динамической устойчивости при изменении конфигурации сети // Электротехнические системы и комплексы. – 2016. – № 3 (32). – С. 27-38.

### Сведения об авторах

**Соколов Александр Павлович** – магистрант 1-го курса, каф. электроснабжения промышленных предприятий, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: logan\_b\_7@mail.ru

**Газизова Ольга Викторовна** – канд. техн. наук, доц. каф. ЭПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.

УДК 21.365.22 + 621.311.44 + 681.515.4 + 621.3.011.72

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТУРА ДУГОВОЙ СТАЛЕПЛАВИЛЬНОЙ ПЕЧИ ДЛЯ РАСЧЁТА МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДУГ НА ОСНОВАНИИ РЕАЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ\*

Николаев А.А., Тулупов П.Г.

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

**Аннотация.** В работе приведено описание математической модели электрического контура дуговой сталеплавильной печи для расчёта мгновенных значений электрических дуг на основании реальных экспериментальных данных. Анализ гармонического состава напряжения электрической дуги может применяться для решения задач диагностики стадии плавления металлошихты в рамках построения усовершенствованных систем управления электрическим режимом. Косвенный расчёт сигнала на базе математической модели в данном случае необходим вследствие того, что напряжение дуги является параметром, который достаточно сложно измерить напрямую. При этом эффективность решения задачи диагностики стадии плавления металлошихты напрямую влияет на технико-экономические показатели работы дуговой сталеплавильной печи.

**Ключевые слова:** дуговая сталеплавильная печь, напряжение электрической дуги, диагностика стадий плавления металлошихты, сопротивление взаимной индукции, математическое моделирование, энергоэффективность.

### Введение

В настоящее время электрометаллургия занимает лидирующие позиции в отрасли производства жидкой стали. Более 50% от общемирового объема жидкой стали приходится на высокопроизводительные дуговые сталеплавильные печи (ДСП) с удельной мощностью печного трансформатора от 0,75 до 1 МВА/т. Очевидно, что установки подобного рода обладают значительным энергопотреблением, вследствие чего особую актуальность приобретает задача снижения производственных энергозатрат.

Одним из путей решения данной задачи является совершенствование системы управления электрическим режимом ДСП путём внедрения принципиально новых методик диагностики стадии плавления шихты. В подавляющем большинстве современных систем управления (ARCOS, Nireg plus, EMPERE, Q-REG, Simelt, MeltExpert и т.д.) применяется подход, согласно которому каждая технологическая стадия расплавления металлошихты жёстко привязана к определённой граничной величине удельного или абсолютного расхода электроэнергии  $W_{уд}$  и  $W_{абс}$  соответственно. Подобный подход является наиболее простым, но не самым эффективным, поскольку условия

протекания каждой плавки являются уникальными, а величина  $W_{уд}$  в ряде случаев имеет слабую корреляцию с технологическими процессами, протекающими внутри печной ванны. Вследствие этого в рамках исследования [1] были предложены альтернативные методики диагностики стадии плавления шихты на основании анализа сигналов тока и напряжения электрической дуги. Результаты исследований показали, что в рамках математической модели гармонический состав напряжения электрической дуги является более предпочтительным для решения задач диагностики стадии плавления шихты ввиду меньшей подверженности влиянию таких факторов, как длина электрической дуги  $L_d$  и коэффициент несимметрии по токам  $K_{21}$  при сохранении зависимости от тепловой постоянной времени дуги  $\theta_d$ .

В свою очередь, в рамках исследования [2] на основании реальных экспериментальных данных было обосновано, что анализ гармонического состава сигнала напряжения электрической дуги для решения задач диагностики стадии плавления шихты является более предпочтительным на начальной стадии плавления шихты. На более поздних стадиях плавки целесообразнее использовать анализ гармонического состава тока дуги ввиду отсутствия необходимости в затратах дополнительных вычислительных мощностей при одинаковой эффективности по сравнению с использованием сигнала напряжения дуги.

© Николаев А.А., Тулупов П.Г., 2019

\*Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых учёных (МК-3230.2018.8)

Важно отметить, что в исследовании [2], как и в подавляющем большинстве других работ, в которых задействована математическая модель электрического контура ДСП [3, 4], рассматривается ситуация, когда взаимные индуктивности между фазами равны ( $M_{12} = M_{23} = M_{13}$ ). Тем не менее практика показывает, что подобный подход верен не во всех случаях, что требует отдельного рассмотрения.

### 1. Определение параметров короткой сети и взаимной индуктивности между фазами на основании опытов двухфазных и трёхфазных КЗ

В рамках данного исследования, на базе электродуговой сталеплавильной печи шахтного типа был проведён эксперимент, направленный на определение активного и индуктивного сопротивления короткой сети, а также взаимных индуктивностей между тремя фазами. В основе эксперимента лежат три опыта попеременного двухфазного (фазы «1» и «2», фазы «2» и «3», а также фазы «1» и «3») и трёхфазного короткого замыкания с фиксацией тока, фазного напряжения и активной мощности на вторичной стороне печного трансформатора. Осциллограммы, полученные в ходе эксперимента, представлены на рис. 1.

Расчёт активного и индуктивного сопротивления короткой сети  $R_{КС}$  и  $X_{КС}$  на основании данных эксперимента может быть произведён с помощью ряда формул. На первом этапе производится расчёт величины полного сопротивления замкнутого контура в каждом из трёх опытов двухфазного короткого замыкания:

$$Z_{2-12} = \frac{S_{2-1} + S_{2-2}}{0,25(I_{2-1} + I_{2-2})^2} = \frac{U_{2\phi_1} \cdot I_{2-1} + U_{2\phi_2} \cdot I_{2-2}}{0,25(I_{2-1} + I_{2-2})^2}, \quad (1)$$

$$Z_{2-23} = \frac{S_{2-2} + S_{2-3}}{0,25(I_{2-2} + I_{2-3})^2} = \frac{U_{2\phi_2} \cdot I_{2-2} + U_{2\phi_3} \cdot I_{2-3}}{0,25(I_{2-2} + I_{2-3})^2}, \quad (2)$$

$$Z_{2-13} = \frac{S_{2-1} + S_{2-3}}{0,25(I_{2-1} + I_{2-3})^2} = \frac{U_{2\phi_1} \cdot I_{2-1} + U_{2\phi_3} \cdot I_{2-3}}{0,25(I_{2-1} + I_{2-3})^2}, \quad (3)$$

где  $Z_{2-12}$ ,  $Z_{2-23}$ ,  $Z_{2-31}$  – величина полного сопротивления замкнутого контура в каждом из трёх режимов двухфазного КЗ соответственно;  $S_{2-1}$ ,  $S_{2-2}$ ,  $S_{2-3}$  – полная фазная мощность на вторичной стороне печного трансформатора в фазах «1», «2» и «3» соответственно;  $S_{2-1}$ ,  $S_{2-2}$ ,  $S_{2-3}$  – полная фазная мощность на вторичной стороне печного трансформатора в фазах «1», «2» и «3» соответственно;  $U_{2\phi_1}$ ,  $U_{2\phi_2}$ ,  $U_{2\phi_3}$  – фазное напряжение на вторичной стороне печного трансформатора в фазах «1», «2» и «3» соответственно;  $I_{2-1}$ ,  $I_{2-2}$ ,  $I_{2-3}$  – величина тока, получаемая с помощью датчиков Роговского [5], установленных на каждой из трёх фаз.

Далее производится расчёт активных сопротивлений замкнутого контура в каждом из трёх опытов двухфазного короткого замыкания:

$$R_{2-12} = \frac{P_{2-1} + P_{2-2}}{0,25 \cdot (I_{2-1} + I_{2-2})^2}, \quad (4)$$

$$R_{2-23} = \frac{P_{2-2} + P_{2-3}}{0,25 \cdot (I_{2-2} + I_{2-3})^2}, \quad (5)$$

$$R_{2-13} = \frac{P_{2-1} + P_{2-3}}{0,25 \cdot (I_{2-1} + I_{2-3})^2}, \quad (6)$$

где  $R_{2-12}$ ,  $R_{2-23}$ ,  $R_{2-13}$  – величина активного сопротивления замкнутого контура в каждом из трёх режимов двухфазного КЗ соответственно;  $P_{2-1}$ ,  $P_{2-2}$ ,  $P_{2-3}$  – фазная активная мощность на вторичной стороне печного трансформатора в фазах «1», «2» и «3» соответственно.

Результирующие параметры короткой сети определяются в соответствии со следующими формулами:

$$Z_{2-1} = \frac{Z_{2-12} + Z_{2-31} - Z_{2-23}}{2}, \quad (7)$$

$$Z_{2-2} = \frac{Z_{2-12} + Z_{2-23} - Z_{2-31}}{2}, \quad (8)$$

$$Z_{2-3} = \frac{Z_{2-23} + Z_{2-31} - Z_{2-12}}{2}, \quad (9)$$

$$R_{2-1} = \frac{R_{2-12} + R_{2-31} - R_{2-23}}{2}, \quad (10)$$

$$R_{2-2} = \frac{R_{2-12} + R_{2-23} - R_{2-31}}{2}, \quad (11)$$

$$R_{2-3} = \frac{R_{2-23} + R_{2-31} - R_{2-12}}{2}, \quad (12)$$

$$X_{2-1} = \sqrt{Z_{2-1}^2 - R_{2-1}^2}, \quad (13)$$

$$X_{2-2} = \sqrt{Z_{2-2}^2 - R_{2-2}^2}, \quad (14)$$

$$X_{2-3} = \sqrt{Z_{2-3}^2 - R_{2-3}^2}, \quad (15)$$

где  $Z_{2-1}$ ,  $Z_{2-2}$ ,  $Z_{2-3}$  – полное сопротивление участка короткой сети фаз «1», «2» и «3» соответственно;  $R_{2-1}$ ,  $R_{2-2}$ ,  $R_{2-3}$  – активное сопротивление участка короткой сети фаз «1», «2» и «3» соответственно;

$X_{2-1}, X_{2-2}, X_{2-3}$  – реактивное сопротивление участка короткой сети фаз «1», «2» и «3» соответственно.

На рис. 2 представлены результаты опытов двухфазного и трехфазного короткого замыкания, в рамках которых были получены осциллограммы на рис. 1, а также результаты промежуточных расчётов с использованием формул (1)-(15). Опыты проводились при использовании первой ступени РПН печного трансформатора ( $N_{TP} = 1$ ), соответствующей наименьшему вторичному напряжению.

Итоговый расчёт показал, что  $R_{2-1}=0,369$  мОм;  $R_{2-2}=0,292$  мОм;  $R_{2-3}=0,356$  мОм;  $X_{2-1}=2,82$  мОм;  $X_{2-2}=2,72$  мОм;  $Z_{2-1}=2,84$  мОм;  $Z_{2-2}=2,74$  мОм;  $Z_{2-3}=2,74$  мОм. На основании полученных данных можно определить величину взаимной индуктивности фаз по следующим формулам:

$$M_{12} = \frac{0,5 \cdot (|X_{2-1} - X_{2-1}^*| + |X_{2-2} - X_{2-2}^*|)}{2\pi f}, \quad (16)$$

$$M_{23} = \frac{0,5 \cdot (|X_{2-2} - X_{2-2}^*| + |X_{2-3} - X_{2-3}^*|)}{2\pi f}, \quad (17)$$

$$M_{13} = \frac{0,5 \cdot (|X_{2-1} - X_{2-1}^*| + |X_{2-3} - X_{2-3}^*|)}{2\pi f}, \quad (18)$$

где  $M_{12}, M_{23}, M_{31}$  – взаимные индуктивности между фазами «1» и «2», «2» и «3», «3» и «1» соответственно;  $X_{2-1}^*, X_{2-2}^*, X_{2-3}^*$  – индуктивные сопротивления фаз «1», «2» и «3» соответственно по результатам опыта трёхфазного короткого замыкания;  $f$  – частота питающей сети (50 Гц). На основании выражений (14) – (16) были определены значения взаимных индуктивностей фаз короткой сети ДСП:  $M_{12} = 0,00133$  мГн;  $M_{23} = 0,001304$  мГн;  $M_{31} = 0,000435$  мГн.

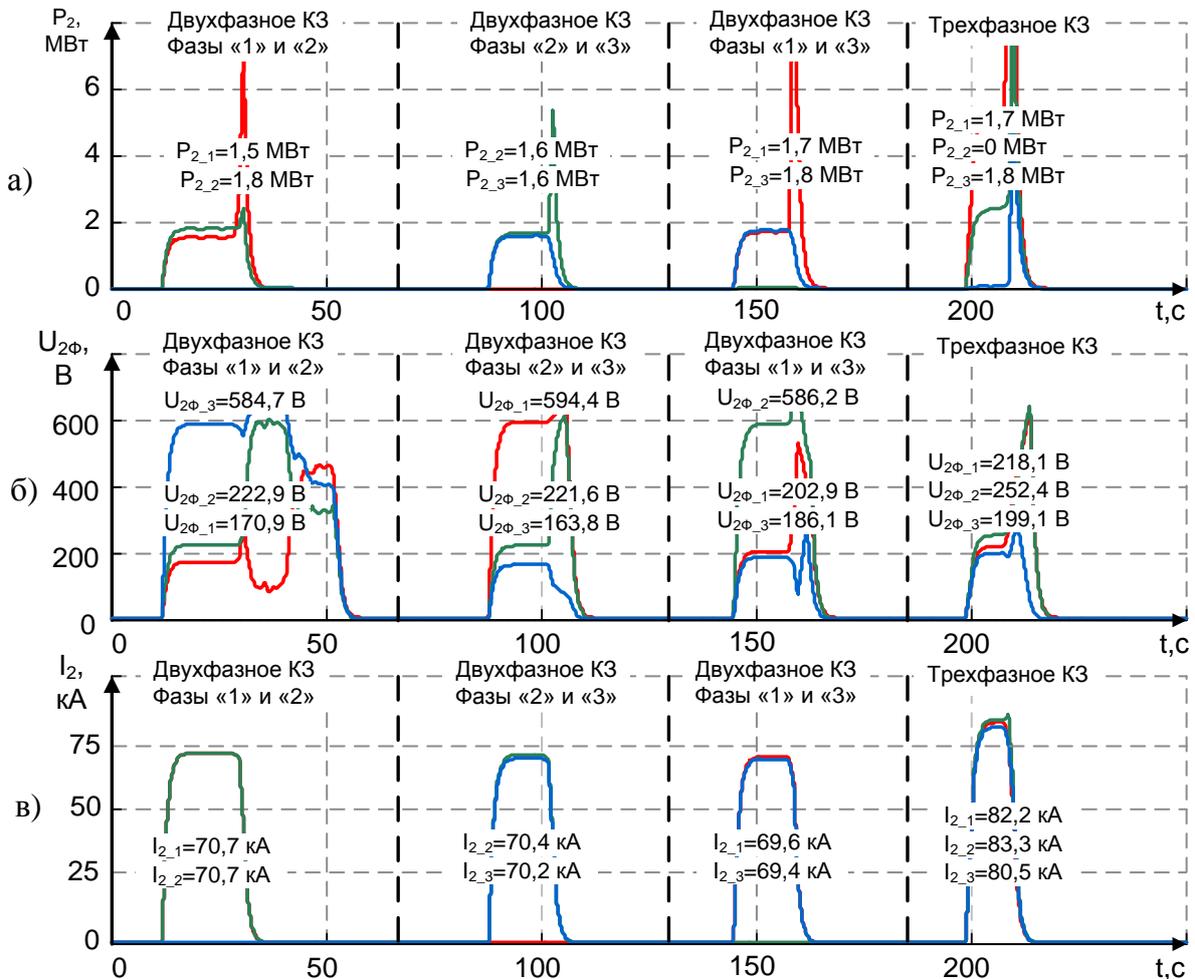


Рис. 1. Графики изменения электрических параметров на вторичной стороне печного трансформатора ДСП шахтного типа (125 т, 85 МВА) при проведении опытов двухфазного и трехфазного короткого замыкания: а – фазные активные мощности на вторичной стороне печного трансформатора  $P_2$ ; б – фазные напряжения  $U_{2\phi}$ ; в – токи на вторичной стороне печного трансформатора  $I_2$

Результаты опыта				Схема опыта
<b>Двухфазное КЗ при погружении фаз «1» и «2»</b>				
	«1»	«2»	«3»	
$U_{2\Phi}$ [В]	170,9	222,9	584,7	
$I_2$ [кА]	70,7	70,7	-	
$S_2$ [МВА]	12,1	15,8	-	
$P_2$ [МВт]	1,5	1,8	-	
$Z_{2\ 12}$ [МОм]		5,58		
$X_{2\ 12}$ [МОм]		5,54		
$R_{2\ 12}$ [МОм]		0,66		
<b>Двухфазное КЗ при погружении фаз «2» и «3»</b>				
	«1»	«2»	«3»	
$U_{2\Phi}$ [В]	594,4	221,6	163,8	
$I_2$ [кА]	-	70,4	70,2	
$S_2$ [МВА]	-	15,6	11,5	
$P_2$ [МВт]	-	1,6	1,6	
$Z_{2\ 23}$ [МОм]		5,48		
$X_{2\ 23}$ [МОм]		5,44		
$R_{2\ 23}$ [МОм]		0,65		
<b>Двухфазное КЗ при погружении фаз «1» и «3»</b>				
	«1»	«2»	«3»	
$U_{2\Phi}$ [В]	202	586	186	
$I_2$ [кА]	69,6	-	69,4	
$S_2$ [МВА]	14,1	-	12,9	
$P_2$ [МВт]	1,7	-	1,8	
$Z_{2\ 13}$ [МОм]		5,59		
$X_{2\ 13}$ [МОм]		5,54		
$R_{2\ 13}$ [МОм]		0,72		
<b>Трёхфазное КЗ</b>				
	«1»	«2»	«3»	
$U_{2\Phi}$ [В]	218,1	252,4	199,1	
$I_2$ [кА]	82,2	83,3	80,5	
$S_2$ [МВА]	18	21,1	16,1	
$P_2$ [МВт]	5,4	2,4	0	
$Z_{2}^*$ [МОм]	2,66	3,04	2,48	
$X_{2}^*$ [МОм]	2,54	3,02	2,48	
$R_{2}^*$ [МОм]	0,78	0,35	0	

Рис. 2. Результаты опытов двухфазных и трёхфазных замыканий с результатами промежуточных расчётов для определения параметров короткой сети шахтной печи

**2. Разработка математической модели электрического контура дуговой сталеплавильной печи с учётом экспериментально определённых взаимных индуктивностей**

Анализ опытов двухфазного короткого замыкания позволяет однозначно определить, как величина напряжения  $\Delta U_M$ , вызванная взаимодействием двух фаз, влияет на результирующее фазное напряжение в отдельно взятой фазе. Это наглядно продемонстрировано с помощью схемы замещения трёхфазного электрического контура печи, представленной на рис. 3.

В исследовании [2, 6] проводился сравнительный анализ сигналов относительного действующего значения суммарных чётных и нечётных гармоник тока и напряжения электрической дуги. Очевидно, что в рамках дальнейших исследований существует необходимость повторного проведения сравнительного анализа для ситуации, когда равенство  $M_{12} = M_{23} = M_{13}$  не выполняется. Таким образом, в рамках данного исследования была разработана математическая модель, функциональная схема которой представлена на рис. 4, позволяющая на основании экспериментальных сигналов тока и фазного напряжения восстановить сигнал напряжения электрической дуги (при условии

$M_{12} \neq M_{23} \neq M_{13}$ ). В основе данной математической модели лежит следующая система уравнений:

$$\begin{cases} U_{ДА} = U_{2\phi A} - I_{Д} R_{\Sigma A} - I_{ДА} L_{\Sigma A} \frac{dI_{ДА}}{dt} - M_{12} \frac{dI_{ДВ}}{dt} + M_{13} \frac{dI_{ДС}}{dt} \\ U_{ДВ} = U_{2\phi B} - I_{ДВ} R_{\Sigma B} - I_{ДВ} L_{\Sigma B} \frac{dI_{ДВ}}{dt} + M_{12} \frac{dI_{ДА}}{dt} + M_{23} \frac{dI_{ДС}}{dt} \\ U_{ДС} = U_{2\phi C} - I_{ДС} R_{\Sigma C} - I_{ДС} L_{\Sigma C} \frac{dI_{ДС}}{dt} - M_{12} \frac{dI_{ДА}}{dt} - M_{23} \frac{dI_{ДВ}}{dt} \end{cases}, (19)$$

где  $U_{ДА}$ ,  $U_{ДВ}$ ,  $U_{ДС}$  – напряжение электрической дуги в фазах «А», «В» и «С» соответственно;  $I_{ДА}$ ,

$I_{ДВ}$ ,  $I_{ДС}$  – ток электрической дуги в фазах «А», «В» и «С» соответственно.

Назначением данной математической модели в будущих исследованиях является оценка степени влияния характера изменения тока в соседних фазах на гармонический состав сигналов тока и напряжения дуги в исследуемой фазе. Результаты данного исследования могут повлиять на подход к построению систем диагностики стадии плавления шихты на основании анализа гармонического состава сигналов тока и напряжения дуги.

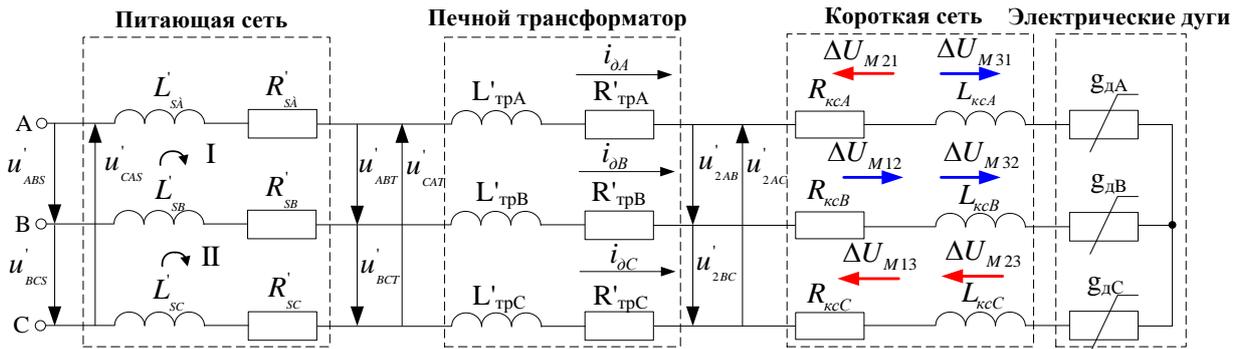


Рис. 3. Схема замещения электрического контура шахтной печи с указанием направления воздействия величины падения напряжения  $\Delta U_M$

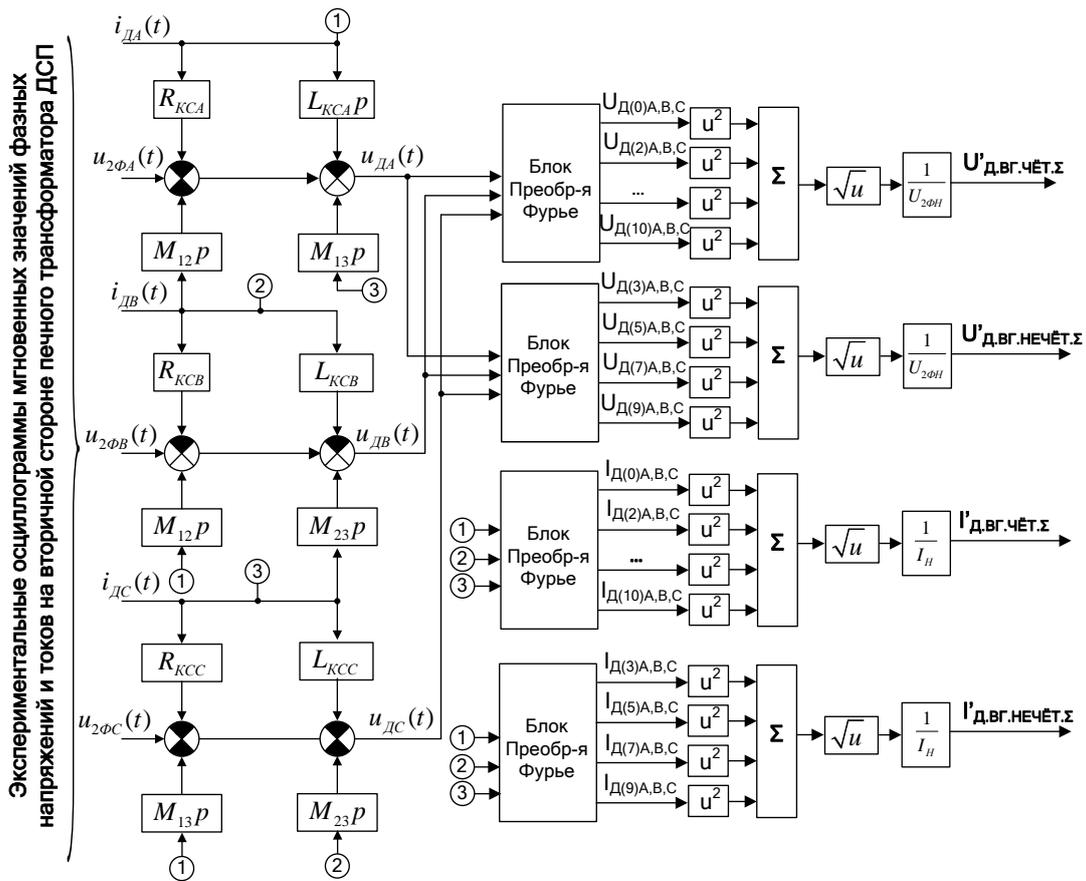


Рис. 4. Функциональная схема математической модели электрического контура ДСП для расчёта относительных действующих значений чѐтных и нечѐтных гармоник напряжений и токов дуг с учётом фактических значений взаимных индуктивностей между фазами дуговой печи

### Выводы

1. В большинстве современных исследований при моделировании электрического контура дуговой сталеплавильной печи в качестве допущения принимается условие равенства взаимных индуктивностей фаз короткой сети  $M_{12} = M_{23} = M_{13}$ . Однако экспериментальные исследования, проведенные на базе современных мощных электродуговых установок производства ведущих зарубежных компаний Primetals Technologies, Danieli и SMS Siemag, показали, что наиболее часто используемая компланарная конфигурация коротких сетей ДСП с симметрирующими элементами для средней фазы, обладает значимой несимметрией сопротивлений взаимоиндукции (взаимных индуктивностей), что необходимо учитывать при разработке математической модели электрического контура ДСП. Расчет сопротивлений взаимоиндукции возможен на основании результатов опытов двухфазного и трехфазного короткого замыкания.

2. На основании данных, полученных в рамках опытов двухфазных и трехфазных коротких замыканий, проведенных на базе ДСП шахтного типа (125 т, 85 МВА), были рассчитаны значения взаимных индуктивностей  $M_{12}$ ,  $M_{23}$ ,  $M_{13}$ . Результаты расчета легли в основу уточненной математической модели электрического контура печи для определения относительного действующего значения суммарного тока четных и нечетных гармоник с учетом фактических значений взаимных индуктивностей между тремя фазами.

3. Разработанная математическая модель играет существенную роль для проведения дальнейших исследований. В перспективе существует необходимость оценки влияния взаимной индуктивности на гармонический состав напряжения электрической дуги в каждой из трех отдельно взятых фаз. Результаты данной оценки окажут значительное влияние на дальнейшие исследования, направленные на разработку системы диа-

гностики стадии плавления шихты по высшим гармоникам напряжения электрической дуги.

### Список литературы

1. Nikolaev A.A., Tulupov P.G., Anufriev A.V. Assessing the Feasibility of Electrical Mode Control of Ultra-High Power Arc Steelmaking Furnace Based on Data about Harmonic Composition of Arc Currents and Voltages // Proceedings of the 16th International Conference on Research and Education in Mechatronics (REM2015). IEEE. Bochum, Germany, November 18-20. – 2015. – pp. 302-308.
2. Николаев А.А., Тулупов П.Г., Омельченко Е.Я. Экспериментальные исследования гармонического состава токов и напряжений дуг мощной дуговой сталеплавильной печи шахтного типа // Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – № 4 (41). – С. 63-72.
3. Рябчикова Е.С., Рябчиков М.Ю. Реализация модели электрического контура трёхфазной цепи ДСП в программной среде VISSIM // Электротехнические системы и комплексы. – 2012. – №20. – С.327-331.
4. Николаев А.А., Тулупов П.Г. Применение математической модели дуговой сталеплавильной печи для анализа мгновенных значений напряжения дуги при наличии реальных сигналов тока дуги и фазного напряжения // Математическое и программное обеспечение в промышленных и социальных сферах. – 2016. – Т.4. – №2. – С. 2-9.
5. Ghanbari T., Samet H., Jarrahi M.A., Daryabar D. Implementation of Rogowski Coil Based Differential Protection on Electric Arc Furnace Transformers of Mobarakeh Steel Company: Design Step // Proceedings of the 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2018 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe). Palermo, Italy, 12-15 June, – 2018. – pp. 1-5.
6. Николаев А.А., Тулупов П.Г., Омельченко Е.Я. Экспериментальные исследования гармонического состава токов и напряжений дуг мощной дуговой сталеплавильной печи шахтного типа Электротехнические системы и комплексы. – 2018. – №4. – С. 63-72.

### Сведения об авторах

**Николаев Александр Аркадьевич** – канд. техн. наук, доц., зав. каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: alexniko@inbox.ru.

**Тулупов Платон Гариевич** – аспирант каф. автоматизированного электропривода и мехатроники, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tulupov.pg@mail.ru.

УДК 331.461

**ПОДДЕРЖАНИЕ РИСКА ВОЗМОЖНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ НА ПРИЕМЛЕМОМ УРОВНЕ В УСЛОВИЯХ РОФ ПАО «ММК»**

Сомова Ю.В., Глухов Ю.А.

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

**Аннотация.** В работе рассмотрены вопросы производственного травматизма, причины возникновения несчастных случаев на производстве. Проведенный анализ несчастных случаев показал, что основными причинами происшествий, наряду с технологическими опасностями, связанными с экстремальными физическими условиями являются технологические нарушения, организационные причины и ошибки эксплуатационного персонала. Установлено, что одному смертельному случаю предшествует 10–30 случаев тяжелых травм (по-разному, на разных предприятиях), 100–300 легких травм, 1000–3000 микротравм и 10–30 тысяч так называемых опасных факторов. Если у основания этой пирамиды на уровне опасных ситуаций никаких профилактических действий не предпринимать, то по мере их накопления происшествие со смертельным исходом становится закономерным и неотвратимым. В работе приведены возможные пути поддержания риска возможных происшествий на приемлемом уровне.

**Ключевые слова:** риск, приемлемый уровень, несчастный случай, происшествия, опасные ситуации.

Вопросы поддержания риска возможных происшествий на приемлемом уровне на объектах повышенной опасности, к которым, безусловно, относится рудообогатительная фабрика ПАО «ММК», становятся все более важными по причине имевших место аварий и травматизма работников.

Ежегодно в России от несчастных случаев на производстве более 5 тыс. человек умирает, свыше 150 тыс. человек получают травмы разной степени тяжести и до 13 тыс. человек становятся инвалидами.

Для обеспечения приемлемого уровня безопасности на производстве необходимо, не дожидаясь аварий, инцидентов, несчастных случаев, выявлять существующие риски проявления этих опасностей и планировать мероприятия по их предупреждению.

Горно-обогатительное производство (ГОП) занимает одну из ключевых позиций на Магнитогорском металлургическом комбинате, т.к. от качества сырья во многом зависит и качество конечной продукции. Важным звеном технологической цепочки является обогащение и переработка руды [1].

Рудообогатительная фабрика (РОФ) ГОП ПАО ММК – комплекс технологических участков с применением дробильно-сортировочного режима. В настоящее время в организационной структуре РОФ четыре участка: дробильно-обогатительная фабрика сульфидных руд, шламовое хозяйство,

вакуумно-фильтрационная установка и дробильно-обогащительная фабрика №5.

Рудообогатительная фабрика (РОФ):

– Дробильно-обогащительная фабрика сульфидных руд (ДОФСР).

– Рудообогатительная фабрика №5.

– Вакуум-фильтрационная установка (ВФУ).

– Шламовое хозяйство.

Применяемая на фабрике технология обогащения руд имеет следующие особенности [2]: рабочие процессы распространяют вредные вещества в атмосфере в виде пыли и газов; используется оборудование, работающее под давлением более 0,7 МПа; высокий уровень шума; используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы.

Данные особенности соответствует признакам опасности 2.2, 2.3 и 2.5 опасного производственного объекта [3]. Исходя из этого, РОФ ПАО «ММК» относится к опасным производственным объектам III класса опасности, осуществляющим производственную деятельность в соответствии с Федеральным законом от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [4].

Из всех несчастных случаев, произошедших на РОФ, почти половина (47%) приходится на ДОФСР (рис. 1). Следовательно, на ДОФСР высокие риски происшествий и аварий.

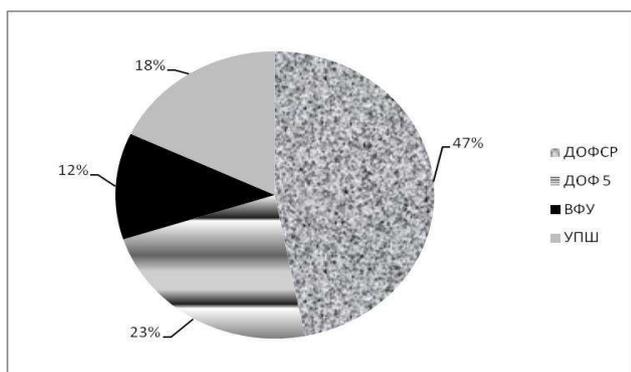


Рис. 1. Распределение несчастных случаев по участкам РОФ, %

Анализ несчастных случаев показал, что основными причинами происшествий, наряду с технологическими опасностями, связанными с экстремальными физическими условиями, являются:

а) технологические нарушения: старение и износ основных производственных фондов; нарушение технологического процесса; отказы средств КИПиА (измерительных приборов, датчиков, блокировок); неисправности систем обеспечения: электрической, подачи воздуха, водоснабжения, охлаждения, теплообмена, вентиляции;

б) организационные причины: нарушение бирочной системы; неудовлетворительная организация ремонтных работ; ухудшение производственного контроля;

в) ошибки эксплуатационного персонала: низкая производственная дисциплина; нарушение требований рабочих инструкций и регламентов.

Как видно из диаграммы (рис. 2), 40% всех несчастных случаев произошли из-за нарушений техники безопасности, 35% – из-за неудовлетворительной организации производства, 20% – из-за личных факторов и лишь 5% – из-за неисправности оборудования [5].

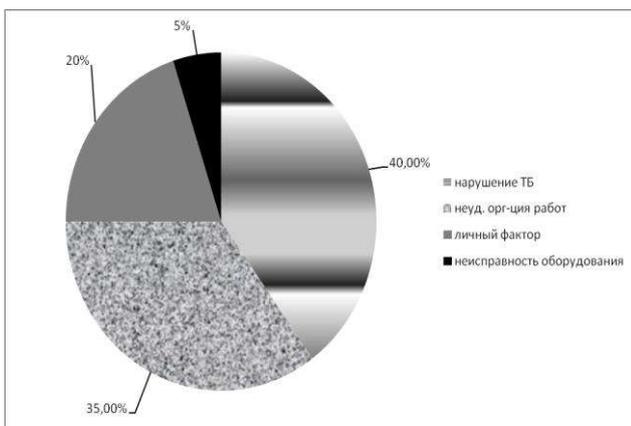


Рис. 2. Причины несчастных случаев на РОФ, %

Учеными установлено, что одному смертельному случаю предшествует 10–30 случаев тяже-

лых травм (по-разному на разных предприятиях), 100–300 легких травм, 1000–3000 микротравм и 10–30 тысяч так называемых опасных факторов. Если у основания этой пирамиды, на уровне опасных ситуаций никаких профилактических действий не предпринимать, то по мере их накопления происшествие со смертельным исходом становится закономерным и неотвратимым [5].

Главной и наиболее трудноразрешимой проблемой является то, что работники предприятия заинтересованы в сокрытии фактов травматизма, или переквалификации их на менее тяжкие, поскольку несут персональную ответственность за нарушение ТБ.

Следовательно, идя только по пути усиления ответственности руководителей, одними карательными мерами не удастся достигнуть ожидаемого результата, ибо каждый вскрытый на производстве факт травматизма вышестоящим руководителем будет восприниматься не как положительный момент в профилактической работе, проводимой в подразделении, а как основание для наказания.

По степени тяжести все производственные травмы, полученные на РОФ, распределились следующим образом (рис. 3): наиболее часто получают травмы средней тяжести (37,8%), в то же время остается высоким показатель травм со смертельным исходом (25%), что подтверждает вывод о необходимости профилактической работы с персоналом с целью предупреждения несчастных случаев [6].

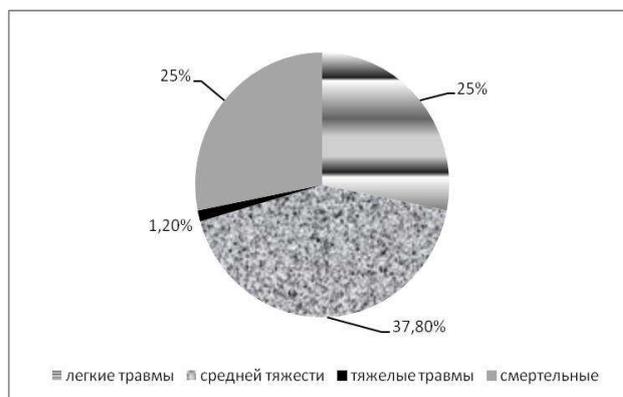


Рис. 3. Распределение травм на РОФ по степени тяжести, %

Анализ динамики травматизма на РОФ в зависимости от стажа работы пострадавших работников (рис. 4) показал, что в основном травмируется персонал со стажем работы от 5 до 10 лет.

То есть это работники, имеющие значительный технологический опыт, как правило, долгое время не подвергавшиеся несчастным случаям, но работающие неосторожно.

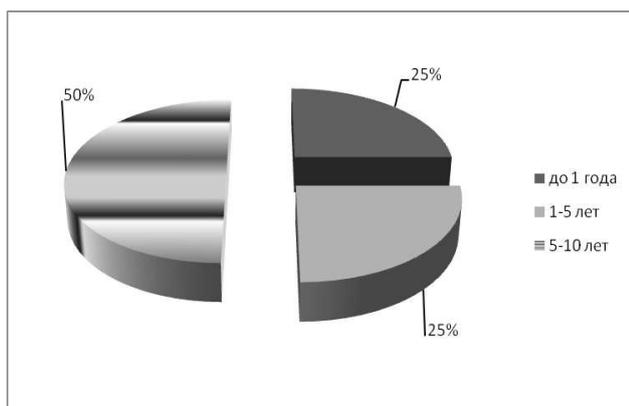


Рис. 4. Динамика травматизма на РОФ по стажу работы пострадавших, %

Таким образом, проведенный анализ показал:

1) РОФ ПАО «ММК», особенно участок ДОФСР, являются опасным производственным объектом;

2) основные причины несчастных случаев и происшествий: технологические нарушения, связанные с износом оборудования, снижение производственной дисциплины; низкий уровень компетенции персонала в области ТБ;

3) в основном травмируется персонал, долгое время не подвергавшийся несчастным случаям, но работающий неосторожно. Очевидно, следует стремиться к достижению хотя бы такого уровня риска, с которым общество в данный период времени сможет смириться, т.е. к приемлемому риску.

Основные принципы обеспечения охраны труда соотносятся с общими принципами обеспечения безопасности. Первый принцип состоит в постоянном (систематическом) предупреждении, профилактике, принятии всяческих мер по предотвращению проявления опасности. Это основной главный принцип обеспечения реальной безопасности.

Второй принцип – в постоянной готовности к ликвидации появления опасности и минимизации ее последствий. Он вытекает из невозможности обеспечения абсолютной безопасности. Об этом принципе часто забывают, и, хотя он является дополнительным принципом к первому, его роль не менее важна.

Важнейшие меры профилактики производственного травматизма и профессиональной заболеваемости, аварий и инцидентов, реализации других опасностей, присущих рудообогатительной фабрике ПАО «ММК»: техническое обеспечение безопасности, санитарно-техническое обеспечение гигиены, подготовка и управление персоналом, социальное партнерство работников с работодателем в организационной сфере охраны труда. Этим охрана труда полностью реализует

принцип профилактики неблагоприятных событий.

Для реализации второго основного принципа – минимизации последствий неблагоприятных событий – обеспечение охраны труда включает целый комплекс мероприятий по социальной защите людей, работающих в неблагоприятных условиях труда, а также пострадавших на производстве в результате тех проявлений производственных опасностей, которые не удалось предотвратить комплексом профилактических мер. К таким мероприятиям можно отнести следующие: компенсации работникам за тяжелые, вредные и опасные условия их труда; возмещение вреда пострадавшему «причинителем вреда»; реабилитация трудоспособности пострадавших. Стремясь к минимизации затрат ПАО «ММК» на вышеизложенные мероприятия, предусматривается и реализуется обязательное социальное страхование профессиональных рисков – несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Цель контрольно-профилактической работы состоит в удержании выходных характеристик ОТУ (общих технических условий) в заданных пределах. Для достижения этого необходима информация о задачах, стоящих перед опасным производственным объектом (ОПО), и результативности их решения, на основе которой вырабатываются соответствующие корректирующие воздействия.

При формулировании общих принципов поддержания требуемого уровня безопасности следует руководствоваться, прежде всего, целями и задачами органов оперативного управления соответствующей подсистемы риск-менеджмента. Учитывая, что возникновение техногенных происшествий на РОФ обусловлено отказами техники, ошибками персонала и нерасчетными воздействиями на него рабочей среды, для поддержания требуемой безопасности необходимо сохранять высокое качество и взаимную совместимость всех перечисленных компонентов человеко-машинной системы [7].

Основные усилия должны быть направлены и на предупреждение техногенных происшествий, и на принятие мер по снижению ущерба в случае их появления. Практическая реализация подобных принципов поддержания требуемого уровня безопасности предполагает конкретное целеполагание и декомпозицию решаемых задач (рис. 5).

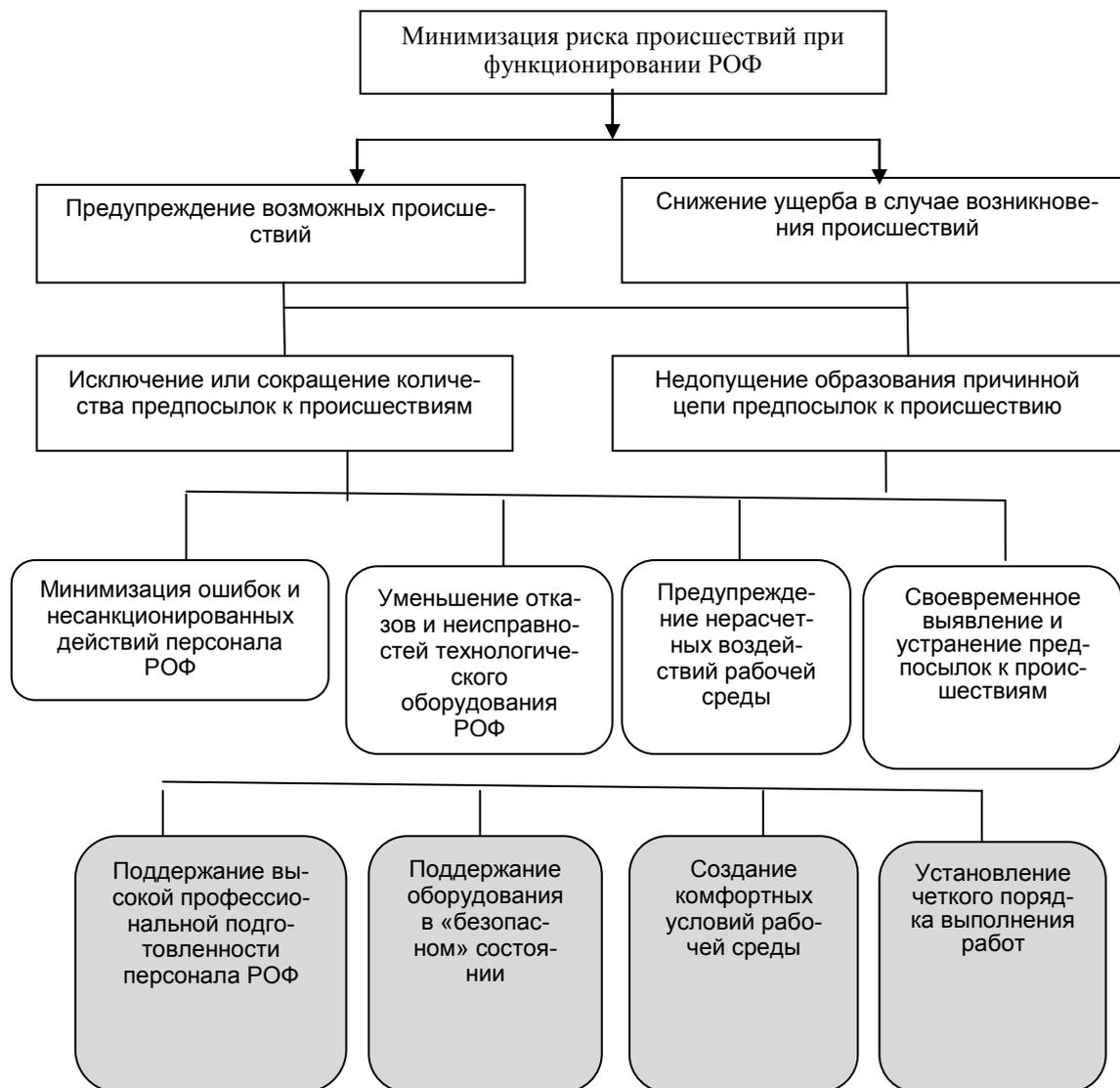


Рис. 5. Цели и условия поддержания требуемой безопасности на РОФ

Как видно из схемы, кардинальными направлениями соответствующей деятельности на РОФ следует считать:

- 1) уменьшение отказов и неисправностей технологического оборудования;
- 2) минимизация ошибок персонала;
- 3) предупреждения нерасчетных воздействий со стороны рабочей среды;
- 4) своевременное выявление и устранение предпосылок к происшествиям.

Для практической реализации необходимо соблюсти 4 условия, представленных на схеме в основании приведенного дерева целей и задач риск-менеджмента.

Анализ результатов расследования технических причин происшедших опасных событий на РОФ показал, что основными факторами возникновения и развития этих событий являются:

- неудовлетворительное состояние технических устройств, зданий и сооружений;
- конструктивные недостатки.

Важнейшим условием снижения риска происшествий является поддержание оборудования в безопасном состоянии. Агрегат (система), оборудование находится в безопасном состоянии в том случае, если [8]:

- отсутствуют дефекты, выходящие за нормы браковки;
- имеются в наличии и находятся в исправном состоянии штатные ограждения, защитные устройства на механизмах;
- приборы безопасности, предохранительные и защитные устройства исправны;
- все приборы, приспособления и принадлежности на агрегате исправны, проверены и испытаны в установленные сроки;

- исходное положение агрегатов соответствует документам;
- агрегат укомплектован средствами защиты;
- не нарушены нормы хранения воспламеняющихся веществ;
- не истекли сроки технического освидетельствования (ТО) объектов гостехнадзора (ГТН), обследования электроустановок (ЭУ), проверки средств защиты;
- исправны блокировки, световая и звуковая сигнализации;
- не нарушена защита от статического электричества агрегатов заправки горючим.

При наличии или отсутствия указанных условий они трактуются как технические предпосылки к происшествиям.

Поддержание оборудования в безопасном состоянии достигается путем проведения комплекса технических мероприятий, основными из которых являются:

- а) своевременное проведение технического обслуживания и планово-предупредительного ремонта оборудования;
- б) проведение ТО объектов ГТН, обследование ЭУ, поверки средств измерений;
- в) обеспечение и поддержание в исправности предохранительных, защитных и заземляющих устройств и ограждений;
- г) проверка наличия и исправности блокировок, световой и звуковой сигнализации;
- д) проведение осмотра ответственных элементов, блоков, узлов, агрегатов и средств обеспечения безопасности перед работой;
- е) укомплектование средствами защиты, их испытание и проверка;
- ж) выполнение на агрегате технических мероприятий и проверка технического состояния комиссиями и должностными лицами.

Анализ травматизма показывает, что происшедшие несчастные случаи происходят чаще с рабочими, находящимися в опасных зонах работ.

Одна из эффективных мер снижения риска происшествий и обеспечения безопасности на РОФ – визуализация опасных производственных зон. Это наиболее простой и действенный метод предотвращения несчастных случаев, снижения уровня травматизма и предупреждения нештатных ситуаций [9].

Концепция визуальной безопасности на РОФ заключается в необходимости сделать видимыми такие ключевые объекты на производстве, как:

- технологическое оборудование;
- конвейеры;
- дорога;
- выступы;
- негабаритные проемы;

- подвесные устройства;
- кабельные линии и т.д.

Кроме того, спецодежда работников также должна быть визуализирована.

Такие меры нужны для предотвращения несчастных случаев и нештатных ситуаций, вызванных недостаточной видимостью опасных мест и объектов.

Нормативными документами в сфере маркировки опасных зон утверждены четыре сигнальных цвета (красный, желтый, зеленый, синий) и около полутора сотен знаков безопасности. В ряде случаев устанавливается контрастное чередование полос сигнального цвета с белым или черным.

Существует несколько вариантов разметки опасных производственных зон – вертикальная и горизонтальная контрастная разметка с использованием желтого и черного цветов.

Вертикальной сигнальной маркировке подлежат негабаритные проезды, колонны, выступающие конструкции. При этом используются световозвращающие и светонакапливающие материалы, а также материалы с контрастной окраской, что позволяет избежать касательных ударов [11].

Маркировка также акцентирует внимание пешеходов на низко расположенных балках, о которые можно удариться головой, и искусственных (технологических) неровностях пола, о которые можно споткнуться.

Горизонтальная сигнальная разметка используется для маркировки пола производственных и складских помещений с целью разделения транспортных и людских потоков, более удобного и безопасного складирования материалов.

Также горизонтальная разметка может сигнализировать о зонах повышенного внимания и опасностях, которые следует избегать, или, напротив, указывать безопасный (оптимальный) путь эвакуации в случае чрезвычайных обстоятельств. Технологический процесс и применяемое оборудование на РОФ обуславливают наличие опасных зон [10].

Постоянные опасные производственные зоны на РОФ, наиболее нуждающиеся в визуализации:

1. Зоны вблизи от неизолированных токоведущих частей электроустановок.
2. Зоны в местах перемещения машин и оборудования.
3. Зоны вблизи от неогражденных перепадов по высоте >1,3 м.
4. Места с опасным воздействием вредных факторов.

Знаки безопасности в опасных производственных зонах рекомендуется размещать таким образом, чтобы они всегда были в поле зрения

людей, для которых они предназначены. Но в то же время знаки не должны отвлекать внимание и создавать неудобства при выполнении работы.

В зонах, где содержатся вредные вещества в концентрациях, выше предусмотренных предельно допустимых значений, или воздействует шум, или другие вредные факторы, знаки безопасности размещают на уровне глаз человека (1,50-1,60 м).

#### 5. Входные группы цехов и участков.

Входные группы цехов рекомендуется визуализировать с помощью знаков безопасности и сигнальной разметки таким образом, чтобы зрительное восприятие не зависело от положения ворот или дверей (открыто либо закрыто). Зона действия знаков безопасности, размещенных на воротах либо дверях, распространяется на все помещение.

Временные опасные производственные зоны РОФ возникают в процессе производства работ продолжительностью до одной рабочей смены – монтаж нового либо демонтаж старого оборудования и т. д.

Обычно временные опасные зоны маркируются сигнальными лентами черно-желтого либо бело-красного цвета.

Проведенный анализ происшествий и аварий на РОФ показал, что их основными причинами являются технологические нарушения, низкий уровень знаний персонала требований промышленной безопасности, неисправности систем обеспечения и др.

В работе определены следующие пути снижения риска происшествий персонала на РОФ ПАО «ММК»:

- 1) совершенствование профессиональной подготовки персонала по ОТ и ТБ;
- 2) поддержание оборудования в безопасном состоянии;
- 3) создание комфортных условий рабочей среды;
- 4) установление четкого порядка выполнения особо опасных работ.

### Список литературы

1. ММК модернизирует горно-обогатительное производство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://news.rambler.ru/other/37838752/?utm\\_content=news&utm\\_medium=read\\_more&utm\\_source=copylink](https://news.rambler.ru/other/37838752/?utm_content=news&utm_medium=read_more&utm_source=copylink)
2. Шергин Д. Обогажительная фабрика: описание, особенности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fb.ru/article/359890/obogatitelnaaya-fabrika-opisanie-osobennosti>
3. Перечень типовых видов опасных производственных объектов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prom-nadzor.ru/content/perechen-tipovyh-vidov-opasnyh-proizvodstvennyh-obektov>
4. Федеральный закон от 21.07.1997 г. N 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (с изменениями на 07.03.2017)
5. Аннотированный отчет по теме НИР «Совершенствование системы управления промышленной безопасностью и охраной труда посредством разработки и внедрения системы поведенческих аудитов безопасности в ОАО «ММК», проводимой кафедрой ПЭиБЖД ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова» (руководитель д.т.н., проф. Черчинцев В.Д.) [рукопись].
6. Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / Минобрнауки России, Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2017. – 152 с.
7. Белов П.Г. Системный анализ и программно-целевой менеджмент рисков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://studme.org/132367/strahovoe\\_delo/sistemnyu\\_analiz\\_i\\_programmno-tselevoy\\_menedzhment\\_riskov](https://studme.org/132367/strahovoe_delo/sistemnyu_analiz_i_programmno-tselevoy_menedzhment_riskov)
8. Надежность технических систем и техногенный риск: учеб. пособие / В.А.Акимов и др.; общ. ред. М.И. Фалеева. – М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002. – 368 с.
9. Сайт РОСОМЗ <http://www.rosomz.ru/>
10. Управление промышленной безопасностью и охраной труда. Стандарт организации /СТО СУПБОТ ММК УОТиПБ – 01-2018, утв. приказом №ГД-01/443 от 30.11.2018. – Магнитогорск: Изд-во ПАО «ММК», 2018. – 160 с.
11. Формирование технологических схем безопасной работы карьеров: монография / А.В. Цыганов, Н.А. Осинцев, С.Е. Гавришев, А.Н. Рахмангулов. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2014. – 166 с.

### Сведения об авторах

**Сомова Юлия Васильевна** – канд. техн. наук, доц. каф. промышленной экологии и БЖД, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [yuliya.somova.82@mail.ru](mailto:yuliya.somova.82@mail.ru).

**Глухов Юрий Алексеевич** – магистр каф. промышленной экологии и БЖД, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [yuliya.somova.82@mail.ru](mailto:yuliya.somova.82@mail.ru)

УДК 656.2

## РАСЧЁТ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА АВТОМОБИЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Цыганов А.В.

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

**Аннотация.** *Актуальность и цели.* В статье рассматривается один из инновационных путей развития транспорта – организация контейнерных перевозок в Российской Федерации. Акцентируется внимание на необходимости изучения воздействия железнодорожных перевозок на автомобильные транспортные средства, размещаемые в железнодорожном подвижном составе. *Результаты.* Определены условия перевозки и динамические силы, действующие на автомобильные транспортные средства в железнодорожном подвижном составе. Установлены зависимости изменения значений динамических сил при различной массе автомобильных транспортных средств в продольном и поперечном направлениях. *Выводы.* Автомобильные транспортные средства, используемые в регулярных контейнерных перевозках, будут испытывать значительные динамические нагрузки конструктивных элементов, что потребует корректировки системы технического обслуживания и ремонта.

**Ключевые слова:** транспорт, железнодорожная перевозка, интермодальная перевозка, контейнерная перевозка, автомобильное транспортное средство, контейнер, железнодорожный вагон, динамическая сила, средство крепления, эксплуатация автомобиля.

### Введение

Организация автомобильно-железнодорожных интермодальных перевозок предусматривает размещение и крепление автомобильных транспортных средств в железнодорожных вагонах-платформах. В числе прочих условий эффективности данных перевозок выступает значительная их дальность (до 2000 км и более) и скорость перевозки (до 120 км/ч) [1-4]. Проведение опытных контейнерных перевозок в России оказалось в ряде случаев неудовлетворительным и приведшим к повреждению автомобильных транспортных средств [5], что свидетельствует о несохранности перевозок контейнеров [6]. Необеспеченность высокого качества услуг снижает интерес к данному виду транспортной деятельности [7, 8].

Организация регулярных контейнерных перевозок будет сопряжена с особой формой эксплуатации постоянно задействованных в них автомобильных транспортных средств. Значительную часть времени данные автотранспортные средства будут обездвиженно перемещаться посредством железнодорожного транспорта, сокращая тем самым пробег и другие технико-эксплуатационные показатели. Но при этом испытывать на этапе перемещения по железным дорогам ударно-динамические нагрузки, сопоставимые в определённой степени с движением по автомобильным дорогам.

Проведённые исследования взаимодействия железнодорожного подвижного состава и автомобильных транспортных средств при контейнерных перевозках направлены преимущественно на оценку динамических нагрузок, приходящихся на железнодорожные вагоны и расчёт усталостной долговечности их несущих конструкций [9-11]. В работе [12] выполнены расчёты крепления грузового автомобиля марки «Mercedes» и прицепа в специализированном вагоне-платформе. К настоящему времени недостаточно изученными остаются вопросы воздействия железнодорожных перевозок на автомобильные транспортные средства и определения значений динамических сил, действующих на автомобили при их перевозке железнодорожным транспортом. Решение данных задач позволит оценить условия их эксплуатации и необходимость проведения сервисного обслуживания при контейнерных перевозках.

### Условия перевозки автомобильных транспортных средств в железнодорожном подвижном составе

Перевозка автомобильных транспортных средств по территории Российской Федерации железнодорожным транспортом регламентирована Техническими условиями размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах [13]. В данных Технических условиях описаны условия, а также способы размещения и крепления в универсальных четырёхосных железнодорожных вагонах-

платформах технических средств на колёсном ходу. Основные условия заключаются в следующем: оговаривается масса единицы техники; площадь поверхности техники, подвергаемой воздействию ветровой нагрузки; высота центра тяжести техники; количество ярусов техники по высоте; положение техники относительно поверхности пола вагона; средства крепления и их параметры; элементы единицы техники и детали вагона, используемые для крепления; схемы погрузки и ряд других условий. В основном перечисленные параметры имеют нормируемые значения. Принципиальные схемы

размещения и крепления автомобильных транспортных средств в железнодорожном подвижном составе приведены на рис. 1.

На автомобильное транспортное средство в процессе железнодорожной перевозки действуют динамические силы, в результате которых с ним может произойти поступательное перемещение, опрокидывание или перекатывание в кузове железнодорожного подвижного состава. Силы, которые учитывают при размещении и креплении автомобильных транспортных средств в железнодорожном подвижном составе, приведены в табл. 1.

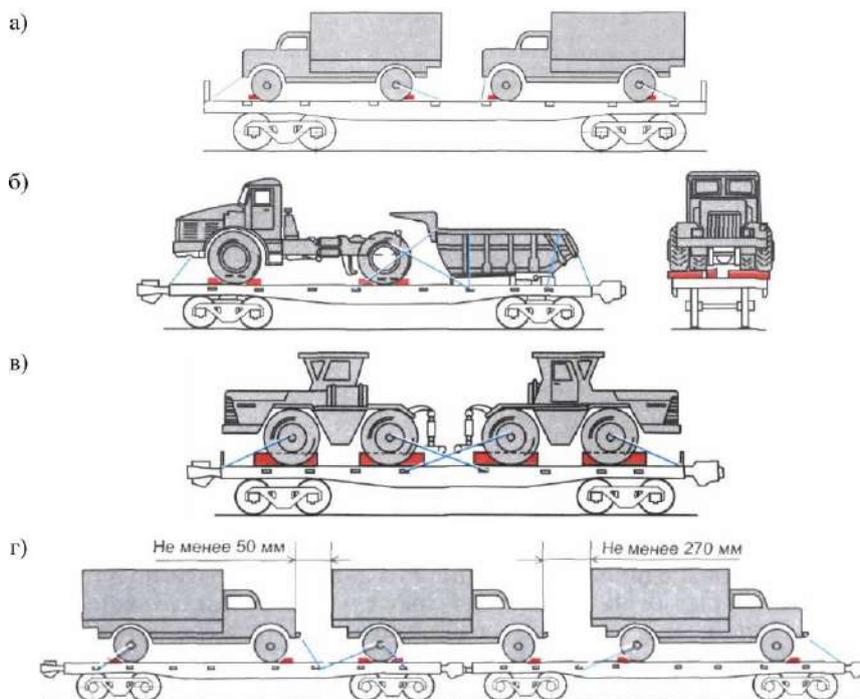


Рис. 1. Принципиальные схемы размещения и крепления технических средств на колёсном ходу на одиночной платформе с закрытыми бортами (а), на одиночной платформе с открытыми бортами (б, в), на сцепе (г) [13]

Таблица 1

Динамические силы, действующие на автомобильные транспортные средства [14]

Наименование и обозначение	Характеристика
Продольная инерционная сила, $F_{пр}$ , тс	возникает при изменении скорости движения железнодорожного подвижного состава (начало движения, ускорение, торможение, соударение вагонов)
Поперечная инерционная сила, $F_n$ , тс	возникает при изменении направления движения (прохождение кривых, стрелочных переводов), а также при движении, вследствие взаимодействия пути и подвижного состава (колебания виляния, поперечного отбоя и боковой качки вагона)
Вертикальная инерционная сила, $F_g$ , тс	возникает при движении (колебания подпрыгивания и продольной качки вагона, удары колёс о рельсы в стыках)
Ветровая нагрузка, $W_n$ , тс	возникает при движении подвижного состава и действует на выступающие за пределы вагона части единицы техники в направлении поперек пути
Сила трения, $F_{тр}$ , тс	возникает между опорными поверхностями единицы техники и полом кузова железнодорожного подвижного состава. Сила трения удерживает единицу техники от возможных перемещений в кузове подвижного состава

### Расчёт сил, действующих на автомобильные транспортные средства

Динамические силы, приходящиеся на средства крепления, воспринимаются элементами автомобильного транспортного средства, к которым они закреплены. Растяжки передают нагрузки на буксирные крюки, петли, полуоси мостов, шасси, технологические отверстия рам, а также другие детали крепления. Через упорные бруски нагрузки передаются непосредственно на колёса. В соответствии с методикой [13] проведены расчёты значений динамических сил, действующих на элементы условного автомобильного транспортного средства, размещённого в железнодорожном вагоне-платформе и закреплённого двумя средствами крепления – проволочными растяжками и упорными брусками.

Следует отметить, что используемая методика не содержит точного указания долевого распределения усилий, приходящихся на каждый вид средств крепления при их совместном использовании. Поэтому в расчётах устанавливались ограничения усилий на средства крепления с учётом

их характеристик. Пример результата расчёта нагрузок, действующих на элементы автомобильного транспортного средства массой 24 т, представлен в табл. 2.

Для автомобильных транспортных средств различной массы (в диапазоне от 2 до 24 т) были установлены зависимости изменения значений динамических сил, действующих в продольном и поперечном направлениях. Значения динамических сил, приходящихся на элементы автомобильных транспортных средств, размещаемых в одиночном вагоне-платформе с открытыми бортами и закрепляемых двумя средствами крепления – проволочными растяжками и упорными брусками, приведены на рис. 2.

Анализ значений нагрузок свидетельствует о том, что элементы автомобильных транспортных средств, используемые для крепления при перевозке в железнодорожных вагонах, испытывают достаточно высокие нагрузки. Их уровень зависит от массы автомобильного транспортного средства: с её увеличением нагрузка элементов возрастает и действует разнонаправлено.

Таблица 2

Расчётные значения динамических сил, действующих на элементы автомобильного транспортного средства (АТС)

Средство крепления	Элемент АТС, к которому допускается крепление	Нагрузка, действующая на элемент АТС в соответствующем направлении, т	
		продольное	поперечное
проволочная растяжка	буксирный крюк, петля, полуось моста, шасси, технологическое отверстие рамы и др.	2,90...3,92	1,28...3,92
упорный брусок	колесо	4,16...5,18	0,0...1,73

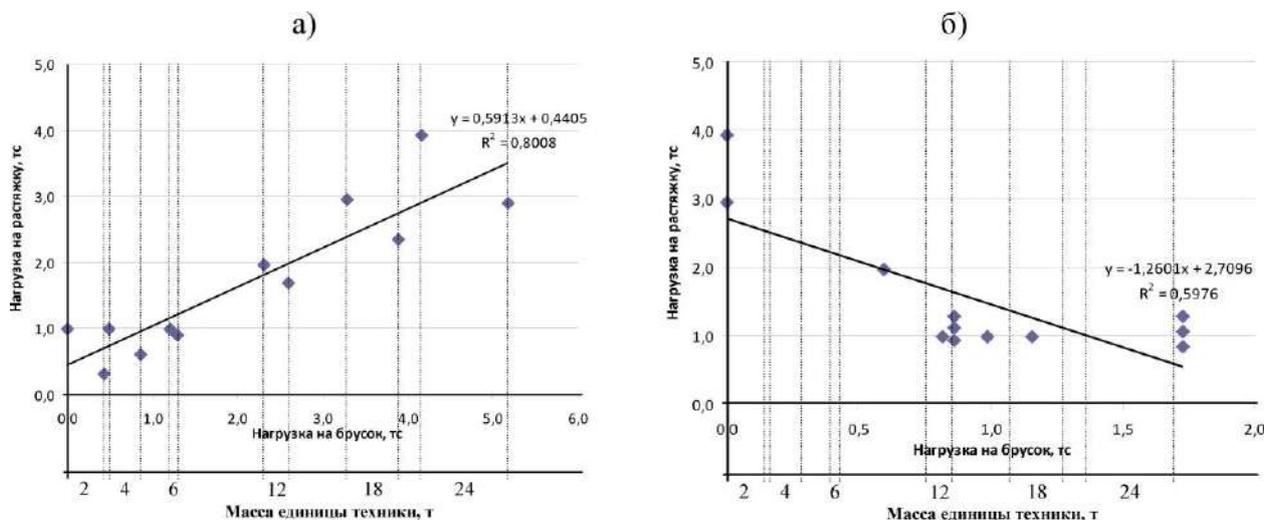


Рис. 2. Значения динамических сил, действующих на элементы автомобильного транспортного средства в продольном (а) и поперечном (б) направлениях

### Заключение

Таким образом, автомобильные транспортные средства, перевозимые железнодорожным транспортом, испытывают значительные динамические нагрузки конструктивных элементов. При регулярных контрейлерных перевозках будет формироваться существенное сокращение значений технико-эксплуатационных показателей работы, определяющих программу технического обслуживания и ремонта автомобилей. Предлагается данную форму эксплуатации рассматривать как «пассивную эксплуатацию» с введением корректировок в организацию системы технического обслуживания и ремонта для данных автомобильных транспортных средств.

### Список литературы

1. Концепция организации контрейлерных перевозок на «пространстве 1520». М.: Изд-во ОАО «РЖД», 2011. – 149 с.
2. Холопов К.В. Зарубежный опыт и направления развития международных контрейлерных перевозок в России // Российский внешнеэкономический вестник. – 2011. – №9. – С. 101-108.
3. Федорина А.В., Цыганов А.В. Комплексный подход к внедрению контрейлерных перевозок в России // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2015. – №1 (6). – С. 21-28.
4. Forming and Developing the Contoller Terminal Regional Network for Conditions of the Russia Federation / Kuzmin D.V., Baginova V.V., Rakhmangulov A.N., Leuven B.A., Fedorov L.S., Andreyeva L.A. // International Journal of Economic Perspectives. – 2017. – Vol. 11. – №2. – pp. 754-763.
5. Чубуков А.В. Организация контрейлерных перевозок в России и в мире // Известия ПГУПС. – 2010. – №2. – С. 44-54.
6. Цыганов А.В. Иерархическая декомпозиция качества процесса контрейлерных перевозок // Качество в обработке материалов. – 2018. – №2 (10). – С. 46-49.
7. Цыганов А.В. PEST-анализ организации контрейлерных перевозок в России // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №2 (53). – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2019/5717>.
8. Цыганов А.В. Использование метода анализа иерархий в управлении качеством контрейлерных перевозок // Надёжность и качество сложных систем. – 2019. – №2 (26). – С. 121-129.
9. Кобищанов В.В., Антипин Д.Я., Мануева М.В. Оценка влияния учёта упругих свойств подвешивания автопоезда на динамические характеристики вагона-платформы для контрейлерных перевозок // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – №4 (52). – С. 179-185.
10. Сапожников А.Н. Исследование взаимодействия вагона-платформы и автомобильного полуприцепа при контрейлерных перевозках как динамической системы // Деп. в ЖД, № 6408жд2003. – М., 2003.
11. Сударева М.В. Анализ динамических показателей вагона-платформы для контрейлерных перевозок // Сборник трудов «Будущее машиностроения России» II Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов. – 2009. – С. 170-172.
12. Ковалев Г.А., Числов О.Н., Супрун Е.Е. Методологические особенности организации железнодорожных контрейлерных перевозок // Вестник РГУПС. – 2018. – №3. – С. 104-113.
13. Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.
14. Цыганов А.В. Грузоведение: транспортная характеристика грузов: практикум. – М.: НИЦ ИНФРА-М., 2018. – 87 с.

### Сведения об авторе

**Цыганов Александр Владимирович** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. логистики и управления транспортными системами, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [tsyganov.sm@mail.ru](mailto:tsyganov.sm@mail.ru)

УДК 676.014:676.017

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ГИДРОФОБИЗАЦИИ И УПРОЧНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Мишурина О.А., Глазкова Я.В., Турлина А.А., Варнавский Д.А., Расторгуев А.Е.

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

**Аннотация.** Авторами данной работы представлены экспериментальные исследования по разработке способа гидрофобизации и упрочнения композиционных материалов на основе вторичной целлюлозы, которая в дальнейшем может использоваться в матрице полимерного композита. Рассмотрены преимущества и недостатки использования волокон вторичной целлюлозы (макулатуры) в качестве сырья при получении композиционных строительных материалов. В экспериментальной части работы в качестве объекта исследований рассматривались волокна макулатурной массы, полученные путем переработки картона, бумаги и газет. По результатам эксперимента в работе предложена методика синтеза целлюлозного композита с использованием макулатурного сырья. Рассмотрены основные методы химической модификации волокна, основанные на направленном изменении химического состава целлюлозы. В качестве упрочняющих и гидрофобизирующих добавок в первом случае использовали силиконовые наполнители – полиорганосилоксан (Пента – 100б), во втором случае – стирол-акриловую водную дисперсию. Для получения зависимостей свойств разрабатываемого композиционного материала от содержания и природы гидрофобизатора и оценки результатов исследования у полученных образцов по стандартным для материалов методикам определяли плотность, водопоглощение, предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве. На основании результатов эксперимента представлен анализ влияния химической природы используемых гидрофобизаторов на прочностные и влагонепрочностные свойства образцов целлюлозных композитов. Установлено влияние исходного вида целлюлозного волокна на прочностные характеристики готового продукта. Представлены выводы и практические рекомендации по использованию вторичного целлюлозного сырья в матрице полимерного композита.

**Ключевые слова:** целлюлозное сырье, композиты, химические добавки, упрочнение, гидрофобизация.

Развитие современной техники требует разработки новых конструкционных материалов, превосходящих по своим прочностным, упругим и другим свойствам традиционные. К числу наиболее интересных и перспективных относятся полимерные материалы (пластики, эластомеры, волокна) с использованием различных наполнителей [1, 2].

При создании новых композиционных материалов главной задачей является улучшение комплекса физико-механических свойств. При этом основной показатель свойств – сопротивление материала разрушению. Во многих случаях наряду с повышением прочности при создании композитов ставят задачу повышения модуля упругости, характеризующего жесткость материала, повышения теплостойкости, стойкости к удару, химической маслостойкости, бензостойкости, улучшения перерабатывания, внешнего вида или размерной стабильности изделий и т. д. В ряде случаев композиционные материалы (КМ) создаются с целью

расширения ассортимента доступных материалов или расширения сырьевой базы [3-6].

На сегодняшний день актуальным стоит вопрос поиска дешевых наполнителей, фосфошлаков, шламов, известковой муки, золы тепловых электростанций, резиновых отходов, макулатуры и др. Наибольший интерес эти наполнители представляют для создания полимерных композиционных материалов (ПКМ), используемых как строительные материалы, дренажные и оросительные трубы и другие изделия [1, 7, 8]. Целесообразность использования вторичной целлюлозы (макулатуры) в составе исследуемого композита обоснована доступностью, дешевизной, а также вариативностью свойств и экологичностью данного материала.

В настоящее время страны запада уже на 60 % широко используют вторичное целлюлозное сырье в качестве исходного материала для получения значительного спектра различных композиционных материалов. В России этот показатель существенно ниже и составляет всего около 16 %, но, несмотря на это, макулатура постепенно заво-

ёвляется отечественный рынок, и использование её в качестве сырья ежегодно возрастает [7, 8].

Основные преимущества вторичного целлюлозного сырья, стимулирующие рост использования макулатурного сырья, заключается в следующем:

1. Замена 1 т первичного целлюлозного волокна макулатурой даёт экономию 3–4 м<sup>3</sup> древесины, что позволяет сократить вырубку лесов, исключить затраты на заготовку, доставку и лесовосстановление.

2. Средняя стоимость 1 т макулатуры в 2–4 раза меньше 1 т целлюлозы. В связи с тем, что стоимость любой продукции на 40% состоит из стоимости сырья, то использование макулатуры позволяет значительно снизить стоимость выпускаемой из неё продукции.

3. Капитальные затраты на строительство производств, использующих макулатуру, в 2–4 раза меньше, чем затраты на производства, включающие целлюлозные заводы.

Наряду с перечисленными плюсами, использование волокон вторичной целлюлозы (макулатуры) в качестве сырья обладает некоторыми недостатками и связано с рядом проблем, основными из которых являются:

1. Качественные характеристики продукции, сделанной из вторичного сырья, ниже, чем изготовленной из первичного волокна (рис. 1, 2).



Рис. 1. Первичные целлюлозные волокна



Рис. 2. Вторичные целлюлозные волокна

2. Улучшение качественных характеристик приводит к росту стоимости конечной продукции.

3. Наблюдается постепенное снижение качества макулатурного сырья, связанное с его многократным использованием, так как при последующей переработке целлюлозные волокна значительно укорачиваются и разрушаются. Это ведет к потере прочности конечной продукции.

Для улучшения эксплуатационных свойств волокон вторичной целлюлозы и композитов с их использованием широко используются различные методы поверхностной и структурной модификации волокна. Методы структурной модификации целлюлозы основаны на направленном изменении взаимного расположения и степени ориентации макромолекул и особенно элементов надмолекулярной структуры в целлюлозном волокне [9-11]. Этими методами можно значительно улучшить механические свойства волокон и пленок, но нельзя придать им новые свойства.

Методы химической модификации основаны на направленном изменении химического состава и строения любого из трех компонентов целлюлозного волокна – целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина – за счет осуществления химических реакций.

Существующие методы обработки и переработки бумаги и картона не всегда позволяют менять свойства материала в необходимых пределах. К тому же физико-химические методы обработки не обеспечивают придания композиционному целлюлозному материалу принципиально новых свойств. Тогда как методы химической модификации целлюлозы позволяют получать на основе модифицированных волокон новые виды бумаг или картона с заранее заданными потребительскими свойствами, что позволит значительно расширить спектр применения целлюлозного сырья.

Целью настоящей работы являлось исследование процессов гидрофобизации и упрочнения композиционных материалов на основе вторичной целлюлозы, которая в дальнейшем может использоваться в матрице полимерного композита.

### Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследований рассматривались:

- основной компонент: волокна вторичной целлюлозы (ВВЦ) – макулатурная масса из отходов картона, бумаги и газет;
- гидрофобизирующие связующие компоненты: полиорганосилоксан (Пента – 1006) (ТУ-2257-204-40245042-2007); стирол-акриловая водная дисперсия (ТУ-20.30.11-038-48797870-2017).

Методика гидрофобизации вторичного целлюлозного волокна: навеска сухого вторичного волокна размалывается в микроизмельчителе с добавлением воды. Далее полученный однородный

состав нагревается на водяной бане в течение 30 мин. Затем непосредственно перед отливом и формованием в состав сырьевой смеси для получения разрабатываемого композиционного материала вводится гидрофобизирующий компонент. Полученные образцы модифицированной целлюлозы высушиваются в сушильном шкафу при постоянной температуре в течение 40 мин.

Для получения зависимостей свойств разрабатываемого композиционного материала от содержания и природы гидрофобизатора, а также оценки результатов исследования у полученных образцов по стандартным для материалов методикам определяли следующие показатели: плотность, г/см<sup>3</sup> (ГОСТ 15139-69); водопоглощение, % (11262-80); предел прочности при растяжении, МПа (ГОСТ 11262-80); относительное удлинение при разрыве, % (11262-80).

### Результаты исследования и их обсуждение

Как следует из данных, полученных в результате экспериментальных исследований, прочность и влагопрочность исследуемых композитов (рис. 3, 4), как в случае использования полиорганосилоксан, так и при стиролакриловой водной дисперсии, достигает максимальных значений в случае 20% концентрации.

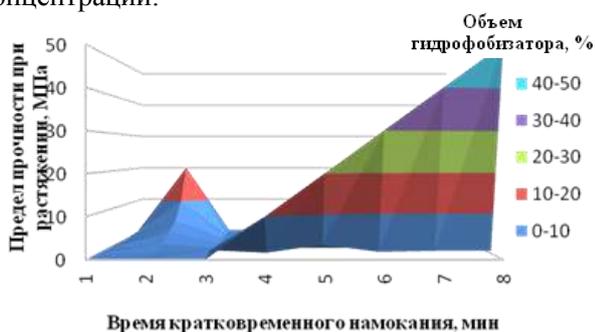


Рис. 3. Изменение параметров прочности и влагопрочности вторичной целлюлозы при использовании стирол-акриловой дисперсии (ТУ-2257-204-40245042-2007)

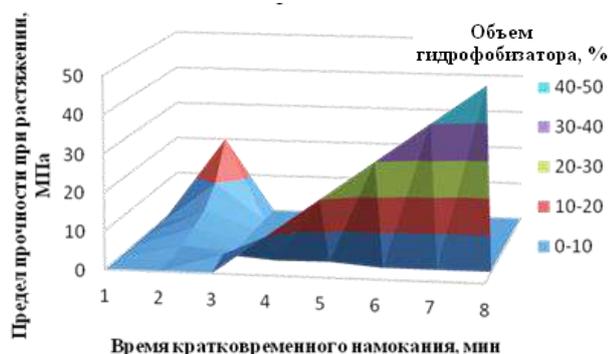


Рис. 4. Изменение параметров прочности и влагопрочности вторичной целлюлозы при использовании полиорганосилоксана (ТУ-20.30.11-038-48797870-2017)

Анализ влияния природы гидрофобизатора на прочностные характеристики целлюлозного композита показал, что при прочих равных условиях большие значения прочности достигаются в случае использования стирол-акриловой водной дисперсии. Данная зависимость может объясняться химическим сродством (гидрофильностью) целлюлозы и гидрофобизатора.

### Заключение

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- прочностные и влагопрочностные характеристики полученных образцов целлюлозного композита практически не зависят от природы вторичного волокна (газетной бумаги, картона). Следовательно, при синтезе полимерно-целлюлозного композита возможно использование любое вторичное целлюлозное сырье;
- анализ влияния модифицирующих добавок на прочность и гидрофобность целлюлозного композита показал, что максимальные показатели достигаются в случае использования стирол-акриловой водной дисперсии.
- максимальные прочностные свойства композита достигаются при введении гидрофобизатора в соотношении 20% от общей массы исходного целлюлозного сырья.

### Список литературы

1. Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Исследование возможности направленного регулирования структуры покрытия в процессе поверхностной проклейки бумаги // Целлюлоза. Бумага. Картон. – 2008. – № 4. – С. 50-53.
2. Исследование влияния процессов облагораживания вторичного целлюлозного сырья на прочностные характеристики готового продукта / О.А. Мишурина, Э.Р. Муллина, А.А. Турлина, А.Е. Расторгуев, Д.А. Варнаевский, З.Б. Кузжугалдинова, Я.В. Глазкова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 1. – С. 17-22..
3. Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие. – Санкт-Петербург, 2013. – 151 с.
4. Коляда Л.Г., Катюшенко О.М., Салихова Л.Р. Изучение защитных свойств комбинированных упаковочных материалов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2007. – № 1 (17). – С. 110-112.
5. Мишурина О.А., Муллина Э.Р. Способы переработки и химической модификации целлюлозы. Электронное издание. – Магнитогорск, 2018.
6. Повышение качества бумаги из макулатуры химическими функциональными веществами / А.А. Остапенко, В.Н. Мороз, В.А. Барбаш, С.Ю. Кожевников, В.К. Дубовый, И.Н. Ковернинский // Химия растительного сырья. – 2012. – Вып. №1. – С. 187-190.

7. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала / О.В. Ершова, Э.Р. Муллина, Л.В. Чупрова, О.А. Мишурина, Л.А. Бодьян // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 12-3. – С. 487-491.
8. Коулз Р., Макдауэлл Д., Кирван М. Упаковка пищевых продуктов / пер. с англ.; под науч. ред. Л.Г. Махотиной. – СПб.: Профессия, 2008. – 416 с.
9. Химическое моделирование гидрофобных свойств поверхности упаковочного картона / О.А. Мишурина, Э.Р. Муллина, Я.В. Глазкова, З.Б. Кузжугалдинова, А.А. Турлина, Д.А. Варнавский, А.Е. Расторгуев // *Современные наукоемкие технологии*. – 2018. – № 11-2. – С. 200-204.
10. Хованский В.В., Дубовый В.К., Кейзер П.М. Применение химических вспомогательных веществ в производстве бумаги и картона: учеб. пособие. – Санкт-Петербург, 2013.
11. Mishurina O.A., Mullina E.R., Chuprova L.V., Ershova O.V., Chernyshova E.P., Permyakov M.B., Krishan A.L. Chemical aspects of hydrophobization technology for secondary cellulose fibers at the obtaining of packaging papers and cardboards // *International Journal of Applied Engineering Research*. – 2015. – Т. 10. № 24. – С. 44812-44814. Патент США 2,867,562 (1959).

#### Сведения об авторах

**Мишурина Ольга Алексеевна** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: oegro74@mail.ru

**Глазкова Яна Владимировна** – студ., каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: chem@magtu.ru

**Турлина Алина Асхатовна** – студ., каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: chem@magtu.ru

**Варнавский Данил Александрович** – студ., каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: chem@magtu.ru

**Расторгуев Александр Евгеньевич** – студ., каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: chem@magtu.ru

УДК 658.562

## РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО КОНТРОЛЯ (НАДЗОРА)

Покрамович Л.Е.

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

**Аннотация.** Риск-ориентированный подход в последнее время все больше внедряется в различные области деятельности предприятий. В статье отражены проблемы реализации риск-ориентированного подхода в рамках системы менеджмента качества и рассмотрены методы их преодоления. Рассмотрен риск-ориентированный подход к организации государственного контроля в рамках российского законодательства. Рассмотрены виды федерального и государственного контроля. Дана характеристика категорий риска и класса опасности. Указан порядок определения и присвоения категории и класса опасности. В статье определена периодичность плановых проверок в зависимости от категории риска (чрезвычайно высокий, высокий, значительный, средний и умеренный риск опасности) и класса опасности. Рассмотрен вопрос о внедрении риск-ориентированного подхода к организации конкретных видов государственного экологического контроля (надзора).

**Ключевые слова:** процессный подход, риск-ориентированный подход, бережливое производство.

На мировом и российском рынках отмечена высочайшая конкуренция и обостряющийся мировой кризис, поэтому у российских предприятий нет другого пути, чем, используя лучшие мировые технологии менеджмента, создавать продукты и услуги, максимально удовлетворяющие клиентов по качеству и цене. Для достижения устойчивого и конкурентоспособного положения предприятию необходимо принимать своевременные управленческие решения, связанные с изменениями внешней и внутренней среды. Одним из главных факторов является постоянное совершенствование ее системы менеджмента качества [1, 3-5, 8].

В настоящее время в связи с необходимостью перехода на новую версию стандарта ИСО 9001 [2] перед организациями различных сфер деятельности, в том числе и промышленными предприятиями, встает вопрос внедрения риск-ориентированного подхода в рамках своей деятельности.

Основная суть стандарта ИСО 9001:2015 – повышение эффективности организации посредством сочетания «процессного подхода», который напрямую связан с бережливым производством с новой концепцией риск-ориентированного мышления.

Применение на практике риск-ориентированного подхода в рамках СМК вызывает множество трудностей, одной из которых является выбор риск-менеджмента.

Проблема выбора методов для управления рисками различных объектов СМК, в том числе процессов, обусловлена следующим:

– в новой версии стандарта ИСО 9001 предусмотрено внедрение риск-ориентированного подхода в рамках функционирования СМК без регламентации методов его внедрения, что порождает сложности в применении существующих подходов из-за многочисленного количества методов его реализации;

– при наличии недостаточных знаний персонала в области риск менеджмента применяются наиболее сложные методы, в результате чего затрачиваются многочисленные ресурсы на освоение и реализацию определенных методов управления рисками, которые оказываются не эффективными ввиду того, что применялись некорректно [6-8]. В связи с чем необходимо на первых этапах внедрения риск-ориентированного мышления в рамках СМК активно применять наиболее простые, понятные для персонала организации и при этом не менее эффективные методы управления качеством. К таковым в первую очередь следует отнести семь простых инструментов качества: контрольный листок, диаграмма Парето, диаграмма Исикавы, гистограмма, диаграмма разброса, стратификация, контрольная карта [1, 3-5].

Для анализа результатов работы самой организации важно использовать все данные о функционировании системы менеджмента качества, что позволит сосредоточиться на поиске проблемных зон и возможностей для улучшения: результаты

проведения внутренних и внешних аудитов, анализ со стороны руководства, исследование удовлетворенности заинтересованных сторон, анализ результативности процессов, данные мониторинга и измерения процессов и СМК и др. [6-8].

Риск-ориентированный подход к организации государственного контроля (надзора) предусмотрен ФЗ -246 «О защите прав юридических лиц» (ст. 8.1) в целях оптимального использования трудовых, материальных и финансовых ресурсов, задействованных при осуществлении государственного контроля (надзора), снижения издержек юридических лиц, индивидуальных предпринимателей и повышения результативности своей деятельности органом государственного контроля.

Постановлением ПР РФ № 806 от 17.08.2016 (в ред.от 21.03.2019) определен перечень видов федерального государственного контроля, в отношении которых применяется риск-ориентированный подход. Перечень содержит 25 видов федерального государственного контроля. Критерии отнесения объектов государственного контроля к классам опасности должны учитывать тяжесть потенциальных негативных последствий возможного несоблюдения юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных требований. Орган государственного контроля (надзора) на своем официальном сайте размещает информацию об объектах, отнесенных к категориям чрезвычайно высокого, высокого, значительного риска (1-й, 2-й, 3-й классы опасности).

Юридические лица, индивидуальные предприниматели вправе запросить информацию о присвоении их деятельности категории риска и класса опасности. К заявлению прилагаются документы о соответствии деятельности юридического лица и используемых ими производственных объектов критериям отнесения объектов к определенной степени риска или определенному классу опасности, на присвоение которых претендует заявитель.

Правительством РФ определена периодичность плановых проверок в зависимости от категории риска и класса опасности:

1. Чрезвычайно высокий риск опасности (1-й класс опасности) – плановая проверка проводится 1 раз в год.

2. Высокий риск опасности (2-й класс опасности) – плановая проверка проводится 1 раз в 2 года.

3. Значительный риск (3-й класс опасности) – плановая проверка проводится 1 раз в 3 года.

4. Средний риск (4-й класс опасности) – плановая проверка проводится 1 раз в 4 года.

5. Умеренный риск (5-й класс опасности) – плановая проверка проводится не чаще 1 раза в 6 лет.

6. Низкий риск (6-й класс опасности) – плановые проверки не проводятся.

Например, при определении риска по метрологическому контролю предприятия отнесены либо к умеренному риску, либо к низкому. Эксплуатируемые средства измерений при этом контролируют на предприятиях охрану труда, экологические выбросы, безопасность выпускаемой продукции и другие обязательные требования. На сегодняшний день ведется работа по пересмотру определения риска при метрологическом контроле.

На форуме Российского союза промышленников и предпринимателей рассматривался вопрос о внедрении риск-ориентированного подхода к организации конкретных видов государственного экологического контроля (надзора). Создана и обеспечена методической документацией система ведомственных программ консультирования предпринимателей. Программы масштабируются на все виды контрольно-надзорной деятельности. С октября 2017 года при проведении плановых проверок обязательны к применению проверочные листы, содержащие контрольные вопросы. В проверочные листы включаются только обязательные требования.

Для полного внедрения риск-ориентированного подхода к организации государственного контроля (надзора) необходимо исключить множество противоречий возникающих между бизнесом и государством.

Таким образом, реализация риск-ориентированного подхода направлена на развитие организации в области идентификации проблемных зон и поиска возможностей для совершенствования всех аспектов СМК. Применение методов управления рисками, в свою очередь, способствует принятию научно обоснованных и своевременных практических решений.

#### Список литературы

1. Применение системного подхода в общественном питании как элемента «бережливого производства» / Н.И. Барышникова, Т.Н. Зайцева, Е.Е. Ходакова, Н.А. Вавилова, В.В. Бакланова // Молодой ученый. – 2017. – №3. – С. 59-61.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. – М.: Стандартинформ, 2015. – 32 с.
3. Повышение конкурентоспособности мясных блюд за счет адаптации элементов бережливого производства / И.А. Долматова, А.А. Быстрова, Ю.В. Мироманова, Д.В. Безшейко // Молодой ученый. – 2017. – №3. – С. 66-70.
4. Актуальность организации «бережливого произ-

- водства» на предприятиях общественного питания // И.А. Долматова, Д.Э. Миллер, М.Д. Лаптева, А.А. Быстрова // Молодой ученый. – 2015. – №23. – С. 137-139.
5. Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф., Тепомес К.Е. «Бережливое производство» на предприятиях общественного питания // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 75-й междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – Т.2. – С. 33-35.
6. Матисон В.А., Арютинова, Н.И. Риск-ориентированный поход к обеспечению безопасности и качества продуктов питания // Пищевая промышленность. – №5. – 2016. – С. 16-20.
7. Решетов В.В. Организационный риск-менеджмент конкурентоспособного производства // Организатор производства. – 2015. – №4. – С. 69-75.
8. Спиридонова А.А., Хомутова Е.Г. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выбора методов управления рисками // Организатор производства. – 2017. – Т.25. – №2. – С.92-100.

#### Сведения об авторе

**Покрамович Людмила Евгеньевна** – ст. преп. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: pokramovich1948@mail.ru.

---

УДК 636.32

## КАЧЕСТВО ОВЧИН БАРАНЧИКОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В РАЦИОНЕ СОРБЦИОННЫХ И ПРОБИОТИЧЕСКИХ ДОБАВОК

Зиянгирова С.Р.<sup>1</sup>, Газеев И.Р.<sup>1</sup>, Нигматьянов А.А.<sup>2</sup>, Ребезов М.Б.<sup>3,4</sup>, Горелик А.С.<sup>3,4</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург<sup>4</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва

**Аннотация.** В статье представлены сведения о качестве овчин 12-месячных баранчиков романовской породы, потребляющие кормовые добавки «Биогумитель» и «Глауконит» раздельно и совместно. Установлено, что молодняк I опытной группы превосходил своих контрольных сверстников по массе парной овчины на 0,60%; II – на 0,89% и III – на 1,49%, площади овчин – на 0,32%; 1,46% и 1,55%. Все овчины по характеру шерстного покрова были отнесены к овчинам с однородной шерстью.

**Ключевые слова:** баранчики, овчина, добавка, гауконит, биогумитель.

Развитию скотоводства в Российской Федерации уделяется пристальное внимание. Применение современных методов интенсификации в животноводстве позволяет увеличить рентабельность продукции в АПК [1-4]. Меховая продуктивность овец в последние годы приобретает все большее значение. Потребность отечественного коммерческого производства в данном виде сырья вызывает необходимость в увеличении его производства [5, 6].

Недостаточное изучение качества меховой и шубной продукции овцеводства способствовало изучению данного вопроса.

С этой целью мы провели исследования в ИП КФХ Турчин А.В. Ишимбайского района Республики Башкортостан по оценке качества овчин баранчиков романовской породы, потребляющих кормовые добавки разного биологического действия. В опыте были задействованы 80 животных, которых разделили на 4 группы по 20 в каждой. В состав рациона молодняка I опытной группы вводили сорбционную минеральную добавку «Глауконит» в дозе 0,10 г/кг живой массы, II опытной группы пробиотическую добавку «Биогумитель» в той же дозировке, III опытной группы – совместно добавки «Глауконит» и «Биогумитель». Качество овчин годовалых баранчиков изучали в соответствии с ГОСТ 28509-90 «Овчины невыделанные. Технические условия».

Глауконит – это слоистый минерал, входящий в группу алюмосиликатов преимущественно неразбухающего глинистого типа. Биологический эффект минерала объясняется структурой кристаллической решетки. Обладая большой активной поверхностью, он селективно сорбирует  $\text{NH}_2$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,

воду, углеводороды, фенолы, экзо- и эндотоксины, тяжелые металлы, радионуклиды, некоторые микроорганизмы. Они вызывают в пищеварительном тракте бактерицидный эффект в связи с выбросом свободных радикалов кислорода. Повышают активность ферментов желудочно-кишечного тракта, переваримость питательных веществ корма [7-9].

Препарат «Биогумитель» содержит микробную массу живых спорообразующих бактерий штаммов *Bacillus subtilis* 12В, *Bacillus subtilis* 11В и *Bacillus subtilis* КК, сорбированных на частицах активированного угля с добавлением ростостимулятора природного происхождения Гумми-90. 1 г пробиотика «Биогумитель» содержит не менее  $1 \cdot 10^9$  колониеобразующих единиц (КОЕ) бактерий каждого вида и 0,25 г Гумми [10, 11].

Товарные свойства овчин находятся в прямой зависимости от физико-механических свойств. Из них большое значение имеют площадь шкуры и ее масса.

Нами была изучена взаимосвязь массы и площади овчины у подопытных баранчиков в связи с разным фоном кормления (см. таблицу).

Установлено, что имея большую предубойную живую массу, молодняк I опытной группы превосходил своих контрольных сверстников по массе парной овчины на 0,02 кг (0,60%); II – на 0,03 кг (0,89%;  $P \leq 0,05$ ); III – на 0,05 кг (1,49%;  $P \leq 0,01$ ).

Площадь овчин была выше у животных, потребляющих изучаемые добавки. Так, разница в пользу молодняка опытных групп составляла 0,30  $\text{дм}^2$  (0,32%;  $P \leq 0,05$ ); 1,35  $\text{дм}^2$  (1,46%); 1,43  $\text{дм}^2$  (1,55%) соответственно.

При экспертизе овчин по характеру шерстного покрова все они были отнесены к овчинам с однородной шерстью и полностью соответствовали требованиям ГОСТа 28509-90, предъявляемым к невыделанным шубно-меховым овчинам.

## Характеристика овчин баранчиков 12-месячного возраста

Показатель	Группа			
	Контрольная	Опытная		
		I	II	III
Предубойная живая масса, кг	39,60±0,03	41,42±0,04***	42,45±0,03***	43,31±0,04***
Масса овчины, кг	3,36±0,01	3,38±0,02	3,39±0,01*	3,41±0,01**
Площадь овчины, дм <sup>2</sup>	92,46±0,76	92,76±0,47	93,81±0,15	93,89±0,30
Приходится площади овчины на 1 кг живой массы, дм <sup>2</sup>	2,33±0,02	2,24±0,01**	2,21±0,01**	2,17±0,01***
Приходится массы овчины на 1 дм <sup>2</sup> , г	36,4±0,41	36,5±0,40	36,1±0,21	36,3±0,09

## Список литературы

1. Залилов Р.В., Ребезов М.Б. Перспективность применения минеральных кормовых добавок в животноводстве и птицеводстве // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: матер. Всеросс. науч.-метод. конф. – 2014. – С. 1211-1214.
2. Khaziakhmetov F.S., Khabirov A.F., Avzalov R.Kh., Tsapalova G.R., Rebezov M.B. and et al. Valuable effect of using probiotics in poultry farming // Annual Research & Review in Biology. – 2018. – Т. 25. – № 1. – Р. 1-7.
3. Khaziakhmetov F., Khabirov A., Avzalov R., Tsapalova G., Rebezov M. and et al. Effect of probiotics on calves, weaned pigs and lamb growth // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Т. 9. – № 3. – Р. 866-870.
4. Sharipova A., Khaziev D., Kanareikina S., Kanareikin V., Rebezov M. and et al. The effects of a probiotic dietary supplementation on the amino acid and mineral composition of broilers meat // Annual Research & Review in Biology. – 2017. – Т. 21. – № 6. – Р. 1-7.
5. Погодаев В.А. Н.В. Сергеева, Г.В. Завгородняя Товарные свойства овчин и гистоструктура кожи баранчиков калмыцкой курдючной породы и помесей (1/2 калмыцкая курдючная × 1/2 дорпер) // Аграрный научный журнал. – 2019. – № 1. – С. 58-62.
6. Товарные свойства овчин баранчиков основных плановых пород Ставропольского края / И.И. Дмитрик, Г.В. Завгородняя, А.И. Суков, А.А. Омаров, В.В. Марченко, М.И. Павлова, Е.Г. Овчинникова // Ветеринария Кубани. – 2011. – № 3. – С. 6-8.
7. Миронова И.В., Канарейкина С.Г., Нигматьянов А.А. Эффективность использования глауконита в кормлении бычков бестужевской породы и его влияние на качество мяса // Агрэкологические и социально-экономические проблемы и перспективы развития АПК Зауралья: материалы региональной научно-практической конференции / Министерство образования и науки РФ; Зауральский филиал ФГОУ ВПО «Башкирский государственный аграрный университет». – 2009. – С. 101-105.
8. Методические рекомендации по использованию пробиотических, энергетических, витаминных и минеральных добавок в кормлении сельскохозяйственных животных / И.В. Миронова, Х.Х. Тагиров, Г.М. Долженкова, Ф.Ф. Вагапов, Н.Г. Гагауллин, И.М. Зиналуллин, Р.С. Исхаков, Н.В. Гизатова, Е.Н. Черненко, О.В. Сенченко; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет». – Уфа, 2016.
9. Черненко Е.Н., Миронова И.В., Гизатов А.Я. Влияние скармливания препарата биогумитель на убойные качества и морфологический состав туши кроликов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – № 4 (48). – С. 146-148.
10. Тагиров Х., Миронова И. Использование глауконита в качестве кормовой добавки // Молочное и мясное скотоводство. – 2008. – № 1. – С. 26-27.
11. Миронова И.В., Гизатов А.Я., Гизатова Н.В. Гематологические показатели телок казахской белоголовой породы при использовании кормовой добавки Биодарин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5 (55). – С. 127-129.

## Сведения об авторах

**Зиянгирова Светлана Равилевна** – ст. преп., механический факультет, каф. математики, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа. E-mail: zilana\_72@mail.ru.

**Газеев Игорь Рамилевич** – канд. с.-х. наук, проф., декан факультета пищевых технологий, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет», г. Уфа. E-mail: irgazeev@gmail.com.

**Нигматьянов Азат Адипович** – канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. специальной химической технологии, ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа. E-mail: rebezov@yandex.ru.

**Ребезов Максим Борисович** – д-р с.-х. наук, проф., зав. каф. управления технологическими инновациями и ветеринарной деятельностью, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва. E-mail: rebezov@yandex.ru.

**Горелик Артем Сергеевич** – аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург; ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», г. Москва. E-mail: rebezov@yandex.ru.

---

УДК 637.07

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ ИЗ МЯСА ИНДЕЙКИ

Ребезов Я.М.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург

**Аннотация.** Рассмотрены проблемы обеспечения населения качественными и безопасными продуктами питания в современных условиях. Ухудшение условий окружающей среды оказывает негативные последствия в виде снижения технологических характеристик сырья для пищевых перерабатывающих отраслей и ухудшения состояния здоровья населения. Необходимыми условиями роста объемов производства мясных продуктов и улучшения их качества является повышение эффективности использования сырьевых ресурсов, сокращение потерь и совершенствование ассортимента выпускаемой продукции.

Рассмотрены нормативные показатели качества и безопасности для мяса индейки как компонента функционального питания. Оценка безопасности осуществляется в соответствии с показателями ТР/ТС 021/11 «О безопасности пищевой продукции». Рассмотрены показатели для исследования патогенных микроорганизмов – бактерий рода *Salmonella*; микробиологические показатели – КМАФАнМ, БГКП, бактерии рода *Proteus*, а также гигиенические требования безопасности к пищевой продукции из мяса птицы – токсичные элементы: свинец, мышьяк, кадмий, ртуть и пестициды: гексахлорциклогексан (ГХЦГ) ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ - изомеры) и трихлорметилди(п-хлорфенил)метан (ДДТ) и его метаболиты.

Показано, что глубокая переработка мяса индейки может существенно расширить ассортимент выпускаемой продукции, конкурентность предприятий по переработке и рентабельность производства продуктов с использованием мяса индейки.

**Ключевые слова:** мясо индейки, качество и безопасность, технический регламент, органолептическая оценка, пищевые продукты.

### Введение

На современном этапе развития пищевой отрасли первостепенное значение занимают проблемы обеспечения населения качественными и безопасными продуктами питания. Это направление является приоритетным направлением государственной политики в области здорового питания. Бурный темп развития различных отраслей экономики значительно ухудшил экологическую обстановку в стране. В связи, с чем отмечено ухудшение качества животноводческого и растительного сырья.[2]

Вследствие ухудшения экологического состояния окружающей среды происходит снижение технологических характеристик сырья для пищевых перерабатывающих отраслей, и как следствие резко снижается выход готовой продукции, увеличиваются отходы сырья, уменьшаются сроки его хранения. Необходимыми условиями роста объемов производства мясных продуктов и улучшения их качества является повышение эффективности использования сырьевых ресурсов, сокращение потерь и совершенствование ассортимента выпускаемой продукции.

Одним из важнейших сегментов продовольственного рынка страны, как по его ёмкости, так и по числу участников, является птицеводство. По данным маркетинговых исследований, проведённых консалтинговыми компаниями, промышленное производство индейки в России по итогам 2018 года остается наиболее динамичным сектором российского животноводства (прирост производства составил 12%). Продукция птицеводства характеризуется широким ассортиментом продуктов из мяса птицы, однако большого разнообразия продуктов из мяса индейки на рынке практически нет. Это связано со сложностью технологического процесса производства, низкой стабильностью качественных характеристик продуктов из мяса птицы при их выработке и хранении.

Возросший интерес российского потребителя к продуктам из мяса индейки зафиксирован в прогнозах компании «АГРИФУД Стретеджис», сделанных на период до 2025 года и учитывающих стабильную динамику роста их производства на протяжении последних нескольких лет. Прогнозы основаны на расчётах потенциального среднелюдиного объёма потребления в 4–4,5 килограмма в год, что соответствует среднему уровню потребления индюшатины в большинстве стран Европы.

А это эквивалентно 580-650 тыс. т в год, то есть отечественное производство индейки может вырасти еще в два с половиной раза относительно сегодняшнего объема.

Техногенная нагрузка отражается не только на качественных характеристиках сырья, но и на состоянии здоровья человека, вызывая снижение иммунологической реактивности у трудоспособного населения и особенно у детей. Результаты анализа заболеваемости взрослого, детского и подросткового населения позволяют полагать, что в ближайшее десятилетие состояние здоровья населения будет характеризоваться накоплением хронических патологий, таких как ожирение, микронутриентная недостаточность, белковый дефицит, болезней органов дыхания, пищеварения, костно-мышечной системы и т.д. [5, 8].

Мясо индейки по физико-химическим показателям идеально подходит для функционального питания, которое предусматривает использование исключительно продуктов естественного происхождения с целью оказания регулирующего действия на организм в целом или на его отдельные системы. Для целого ряда развитых стран производство продуктов питания функционального назначения, в том числе и из мяса индейки, является стратегическим направлением [12].

Российский потребительский рынок требует более широкого и разнообразного ассортимента продукции из мяса индейки. Поэтому актуальной задачей является обеспечение потребительского рынка безопасными и высококачественными продуктами из мяса индейки и разработка их технологии.

### Методология исследования

В ходе исследования развития птицеперерабатывающей отрасли по развитию рынка мяса индейки установлено, что в 2018 году особенно значительно расширилась и линейка продукции из мяса индейки. На потребительском рынке помимо традиционных частей тушки и субпродуктов, появляется все больше продуктов уже готовых для приготовления: филе мелкой нарезки, индивидуально упакованные голени, голень и бедро без кости, маринованные части, рулеты, котлеты, шашлык из индейки, купаты, колбаски, специальные термопакеты для запекания, бургеры, оссобукко и мн. др.

В последние годы в мире все больше внимания уделяется глубокой переработке мяса птицы, и в перспективе объем готовой продукции из него будет увеличиваться. Мясо индейки идеально подходит для этих целей, так как является самой большой по

массе из распространенных домашних видов птицы. Современные процессы позволяют получать самок живой массой 10 кг и более в 16-недельном возрасте, а самцов – свыше 22 кг. Однако в виде целых тушек или даже порционных продуктов индейка не конкурентоспособна. А вот глубокая переработка существенно повышает рентабельность производства продуктов с использованием мяса индейки. В настоящее время производители мяса индейки смогли удлинить сроки хранения охлажденных продуктов путём усовершенствования систем качества и внедрения новых видов упаковки. Это позволило расширить рынок потенциальных покупателей в тех регионах, где нет собственного производства этой продукции [14].

Отличные вкусовые качества, высокое соотношение массы мяса и костей, а также быстрое воспроизводство – эти достоинства привели к повышению популярности индейки во всем мире. Кроме высоких вкусовых и питательных качеств, мясо индейки характеризуется более низким, чем говядина и свинина, содержанием жира и холестерина. Оно прекрасно подходит для диетического питания. В то же время мясо индейки богато белками, витаминами и минералами, необходимыми человеку. Индейка является отличным источником фосфора (только в индейке фосфор содержится в таком же количестве, как и в рыбе) [1, 4, 6].

Оптимальный химический состав и высокая пищевая ценность мяса птицы привело к тому, что в других странах основная масса продуктов из индейки продается в готовом виде. В настоящее время это не характерно для российского рынка, и, следовательно, является открытой и перспективной нишей [1, 6].

На российском рынке группа компаний «Дамате», которая является лидером по производству мяса индейки, заложила новый завод, который будет выпускать около 60 тыс. т ветчин, колбас и деликатесов по рецептурам и в упаковке, соответствующим требованиям как национального, так и экспортных рынков. В связи с чем проблемы обеспечения безопасности готовых продуктов из мяса индейки занимают первостепенное значение.

Механизм регулирования качества и безопасности пищевых продуктов обеспечивается Федеральными законами №184 «О техническом регулировании», №2300-1 «О защите прав потребителей, №52 «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», № 29 «О качестве и безопасности пищевых продуктов».

Внедрение системы ХАССП (анализ рисков и контроль критических точек) снижает уровень риска возникновения опасностей для здоровья по-

требителей и повышает требования к качеству проведения испытаний пищевых продуктов в соответствии с требованиями нормативных документов. Законодательно требования безопасности к продукции из мяса птицы закреплены в Техническом регламенте Таможенного союза 021/11 «О безопасности пищевой продукции» [8].

Микробиологические нормативы безопасности (патогенные) представлены в табл. 1.

Таким образом, патогенные микроорганизмы в продукции из мяса птицы нормируются в пробе мяса массой 25 г.

Микробиологические нормативы безопасности представлены в табл. 2.

Микробиологические нормативы безопасности включают требования по таким показателям, как количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, бактерии группы кишечных палочек и рода *Proteus*.

Таблица 1

Микробиологические нормативы безопасности (патогенные)

Показатель	Группа продуктов	Масса продукта, г, в которой не допускается
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы	Мясо и мясная продукция; субпродукты, шпик свиной и продукты из него	25

Таблица 2

Микробиологические нормативы безопасности

Показатели	Допустимые уровни	Примечание
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, КОЕ/г, см <sup>3</sup> , не более	1×10 <sup>3</sup>	Колбасные изделия вареные из мяса птицы, в том числе нарезанные; тушки и части тушек птицы и изделия из них запеченные, варено-копченые, копченые, сырокопченые, сыровяленые; в том числе рубленые
	2×10 <sup>3</sup>	Желированные продукты из мяса и птицы; паштеты из мяса птицы
	1×10 <sup>4</sup>	Тушки и мясо птицы охлажденное, сушеные продукты из мяса птицы, в том числе фарш цыплят сублимационной сушки
	1×10 <sup>6</sup>	Натуральные: мясокостные, бескостные в панировке, со специями, соусом, маринованные; мясо кусковое бескостное в блоках; полуфабрикаты из мяса птицы рубленые (охлажденные, замороженные, замороженные); мясо птицы механической обвалки, костный остаток охлажденные, замороженные в блоках, полуфабрикат костный; кожа птицы; субпродукты птицы и полуфабрикаты из них
Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), не допускаются в массе продукта, г/см <sup>3</sup>	1,0	Колбасные изделия из мяса птицы, полукопченые, варено-копченые, вареные, в том числе нарезанные; тушки и части тушек птицы и изделия запеченные, варено-копченые, копченые, сырокопченые, сыровяленые
	0,1	Колбасы и продукты из мяса и птицы сырокопченые и сыровяленые; желированные продукты из мяса и птицы; готовые быстрозамороженные блюда из мяса птицы; паштеты и ливерные колбасы из мяса и субпродуктов птицы; продукты сушеные из мяса птицы
	0,0001	Мясо замороженное механической обвалки; полуфабрикаты из мяса птицы мясокостные, рубленые, формованные, в т.ч. панированные, в тестовой оболочке, фаршированные; фарши
Бактерии рода <i>Proteus</i> , не допускаются в массе продукта, г	1,0	Фарш куриный сублимационной и тепловой сушки; сушеные продукты из мяса птицы

Гигиенические требования безопасности к пищевой продукции из мяса птицы представлены в табл. 3.

Таблица 3

Гигиенические требования безопасности к пищевой продукции из мяса птицы

Показатели	Допустимые уровни
Токсичные элементы :	
- свинец	0,5
- мышьяк	0,1
- кадмий	0,05
- ртуть	0,03
Пестициды:	
- ГХЦГ (α, β, γ- изомеры)	0,1
- ДДТ и его метаболиты	0,1

Гигиенические показатели определяются инструментальными методами, результаты которых могут значительно отличаться друг от друга. Различия зависят от точности методов исследования и от используемого способа обработки мяса индейки при доведении пищевого продукта до готовности [4, 9–11, 13].

Продукция из мяса птицы входит в Перечень подконтрольных товаров, подлежащих сопровождению ветеринарными сопроводительными документами (ветеринарные сертификаты, ветеринарные свидетельства, ветеринарные справки). Ветеринарное законодательство Российской Федерации включает ФЗ «О ветеринарии», «Правила ветеринарного осмотра убойных животных и ветеринарно-санитарной экспертизы мяса и мясных продуктов» и нормативные правовые акты субъектов Российской Федерации.

Важнейшей задачей ветеринарно-санитарного контроля при переработке животных на мясо является экспертиза продуктов убоя, по результатам которой можно сделать окончательное заключение о доброкачественности мяса и порядке его использования. Экспертиза продуктов убоя производится в соответствии с требованиями Технического регламента Таможенного союза о безопасности мяса и мясной продукции (ТР ТС 034/2013). [3,7]

Требования к качественным показателям мяса птицы (органолептические и физико-химические) предусмотрены ГОСТ 31473-2012 «Мясо индеек (тушки и их части). Общие технические условия». Органолептические методы определения качества мяса индеек предусматривают: определение внешнего вида и цвета, состояния мышц на разрезе; консистенции; запаха; прозрачности и аромата бульона. При проведении органолептических показателей в готовых продуктах из мяса индейки определяют внешний вид изделия, консистенцию, запах и вкус, внешний вид на разрезе.

Лабораторными методами у мяса индейки определяют: концентрацию ионов водорода (рН); летучие жирные кислоты; кислотность, окисляемость, коэффициент кислотность/окисляемость; аминок-аммиачный азот, перекисное число жира.

Появление на потребительском рынке широкого ассортимента пищевых продуктов функционального назначения из мяса индейки может существенно увеличить конкурентность предприятий по его глубокой переработке и рентабельность производства функциональных продуктов с использованием высокоценного мяса индейки.

Список литературы

1. ROLE OF CALCIUM, MAGNESIUM AND PHOSPHOROUS IN HUMAN BODY / Okuskhanova E., Suychinov A., Rebezov M., Nurgazezova A., Anuarbekova A., Harlap S., Maksimiuk N., Zaitseva T., Shcherbakov N. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2018. – Т. 9. – № 6. – С. 258-261.
2. Проблемы безопасности пищевых продуктов / С.Р. Гаджиева, Т.И. Алиева, Р.А. Абдуллаев, З.Т. Велиева // Молодой ученый. – 2014. №4. С. 417-418. — URL: <https://moluch.ru/archive/63/9425/> (дата обращения: 17.05.2019).
3. Долматова И.А., Барышникова Н.И., Седыченкова Е.В. Ветеринарно-санитарная экспертиза мяса теплокровных животных // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 75-й междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – Т.2. – С. 30-33.
4. Долматова И.А., Быстрова А.А., Вавилова Н.А. Органолептические и физико-химические показатели качества блюд из мяса индейки, приготовленных в пароконвектомате // Молодой ученый. – 2016. – №12. – С. 252-255.
5. Долматова И.А., Быстрова А.А., Мироманова Ю.В. Продукты профилактического назначения как элемент организации здорового питания // Современное исследование в развитии общественного питания и пищевой промышленности: матер. междунар. науч.-практ. и науч.-метод. конф. профессор.-преподав. состава и аспирантов. 8 апреля 2016г. – Белгород, БУКЭП, 2016. – С. 137-142.
6. Исследование химического состава мяса индейки / А.С. Камбарова, А.Н. Нургазезова, Ж.М. Атамбаева, М.Б. Ребезов // Качество продукции технологий и образования: матер. XIII междунар. науч.-практ. конф. – Магнитогорск, 2018. – С. 61-63.
7. Краснова В.Е. Ветеринарно-санитарная оценка охлажденного мяса индейки // Научное сообщество студентов: междисциплинарные исследования: сб. ст. по матер. XXII междунар. студ. науч.-практ. конф. – № 11(22). – URL: [https://sibac.info/archive/meghdis/11\(22\).pdf](https://sibac.info/archive/meghdis/11(22).pdf)
8. Морарь М.А., Вайскрובה Е.С., Ребезов Я.М. Мясо индейки как лечебно-профилактический продукт в питании // Качество продукции технологий и образования: матер. XIII междунар. науч.-практ. конф. – Магнитогорск, 2017. – С.53-56.

9. Контроль качества результатов анализа при реализации методик фотоэлектрической калориметрии и инверсионной вольтамперометрии в исследовании проб пищевых продуктов на содержание мышьяка / М.Б. Ребезов, И.В. Зыкова, А.М. Белокаменская, Я.М. Ребезов // Вестник Новгородского гос. ун-та им. Ярослава Мудрого. – 2013 – № 71-2. – С. 43-48.
10. Контроль качества результатов определения кадмия в пищевых продуктах методом инверсионной вольтамперометрии и атомно-абсорбционной спектроскопии / М.Б. Ребезов, А.М. Чупракова, А.Н. Мазаев, Я.М. Ребезов, Н.Н. Максимюк // Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. – 2012. – Т.2. – №42. – С. 378-384.
11. Ребезов Я.М. Показатели качества блюд из мяса индейки в зависимости от способа тепловой обработки // Качество продукции технологий и образования: матер. XIII междунар. науч.-практ. конф. – Магнитогорск, 2018. – С. 124-128.
12. Физиологические эффекты и роль функциональных продуктов питания / В.Ф. Рябова, Е.Н. Малова, Т.И. Курочкина, Е.Е. Ходакова // Молодой ученый. – 2015. – №6. – С. 204-207.
13. Рябова В.Ф., Миллер Д.Э. Изменение пищевой ценности блюд из мяса птицы при тепловой обработке // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 75-й междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – Т.1. – С. 244-247.
14. Технология мяса и мясных продуктов: учеб. пособие / С.К. Касымов, Б.К. Асенова, А.Н. Нургазезова, Г.Н. Нурымхан, А. К. Игенбаев, Н.Р. Муслимова. – Семей: Государственный университет имени Шакарима города Семей, 2016. – С. 90-108.

#### Сведения об авторе

**Ребезов Ярослав Максимович** – аспирант, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург. E-mail: rebezov@yandex.ru

---

УДК 664, 664.8/9

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ КРОВИ**Горелик О.В.<sup>1</sup>, Харлап С.Ю.<sup>1</sup>, Голомага В.С.<sup>1</sup>, Хлусов В.Н.<sup>2</sup>, Колесниченко И.С.<sup>2</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург<sup>2</sup>ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения АПК», г. Москва

**Аннотация.** Важным источником пополнения белковых, пищевых и кормовых ресурсов является кровь, получаемая при убое животных. Биологическая ценность ее обуславливается значительным содержанием в ней белков, минеральных солей, витаминов и гормонов. По содержанию белковых веществ кровь почти приравнивается к мясу. Нами изучены современные методы переработки и утилизации крови, ассортимент продукции из крови и предложен метод сушки крови.

**Ключевые слова:** методы, переработка, утилизация, кровь, ассортимент.

Комплексное использование сырья животного происхождения является актуальной задачей мясоперерабатывающей промышленности [1-3]. Важным источником пополнения белковых, пищевых и кормовых ресурсов является малоценное сырье, в том числе кровь, получаемая при убое животных [4-6]. Биологическая ценность малоценного сырья обуславливается значительным содержанием в нем белков, минеральных солей, витаминов и гормонов и др. [7-9].

Количество крови у различных сельскохозяйственных животных не одинаково. По данным К. Викторова оно равно (в процентах от живого веса): у лошади 9,8%, у овцы 8,1%, у крупного рогатого скота 7,7%, у свиньи 4,6%. Добиться полного обескровливания даже на хорошо оборудованных мясокомбинатах при убое скота не удается, и средний выход крови с одной головы различных видов животных составляет следующий процент их живого веса: лошади – 5,0%, крупный рогатый скот – 14,3%, овцы – 3,5%, свиньи – 3,0%.

Целью работы было изучение современных методов переработки и утилизации крови (пищевой и технической).

В зависимости от производственной необходимости собранную кровь от здоровых животных подвергают разным технологическим обработкам.

Согласно ГОСТ Р 52428-2005 «Продукция мясной промышленности. Классификация» кровь и получаемые из нее продукты первичной переработки делят на цельную кровь, осветленную, дефибринированную, стабилизированную, плазму, сыворотку, форменные элементы, фибрин, а также альбумин пищевой светлый и черный.

Виды обработки крови:

1. Стабилизация – это обработка пищевой крови с целью предотвращения ее свертывания. Практически процесс стабилизации проводят при получении крови для сепарирования. В результате стабилизации крови создаются условия для повышения содержания белковых веществ в плазме из-за сохранения в ней при сепарировании фибриногена.

Допускается стабилизация крови с одновременным консервированием поваренной солью в количестве 2,5–3,0%. Кровь, используемую в цельном виде для пищевых целей (колбасное производство), стабилизируют только поваренной солью. Кровь, предназначенную для технических целей, стабилизируют водными растворами солей фосфорной кислоты и цитрата натрия. В чистый приемный сборник сначала вливают определенное количество раствора стабилизатора, а затем с помощью полого ножа через резиновый шланг собирают кровь. В настоящее время на перерабатывающих предприятиях эксплуатируются механические системы для сбора крови, в которых стабилизация осуществляется в процессе обескровливания животных. При использовании таких систем стабилизаторы вводят в виде растворов в сонную артерию оглушенных животных в процессе их обескровливания.

Кровь, предназначенную для производства медицинских препаратов, стабилизируют пирофосфорнокислым натрием или дефибринируют в специальных дефибринаторах.

2. Дефибринирование. Освобождение полученной для пищевых целей крови от образующегося при ее свертывании фибрина, осуществляют в специальных аппаратах – дефибринаторах. Их изготавливают из нержавеющей стали и оснащают лопастной мешалкой разных модификаций. Мешалка дефибринатора должна вращаться в те-

чение всего периода сбора крови и останавливается только через 4-5 минут после добавления последней порции крови. Средний выход дефибринированной крови и фибрина составляет соответственно 90 и 10% массы цельной крови крупного рогатого скота и свиней. Продолжительность периода от сбора крови, извлеченной у животного, до начала дефибринирования не должна превышать 1 минуты. Позднее начало процесса дефибринирования приводит к образованию сгустков, которые не разбиваются мешалкой, и в конечном итоге уменьшают выход дефибринированной крови на пищевые цели. Дефибринирование крови для технических целей проводят в мельницах, где сгустки крови измельчают и отфильтровывают. Из выделенного при этом фибрина производят кормовые продукты (например, кровяную муку), а оставшуюся жидкую часть крови направляют в распылительные дисковые сушилки для получения альбумина.

3. Сепарирование. Разделение крови убойных животных на фракции способствует наиболее рациональному ее использованию. Используемый для этого метод сепарирования основан на том, что форменные элементы имеют большую по сравнению с плазмой (сывороткой) крови плотность. Аппараты, обеспечивающие разделение крови убойных животных на фракции названы сепараторами. В них процесс разделения ускоряется центробежными силами, которые создаются вращающимся барабаном сепаратора.

4. Коагуляционное осаждение белков крови. Тепловую коагуляцию осуществляют при температуре 90–95°C для значительного понижения массовой доли влаги в коагуляте (до 50%) и его микробиологической обсемененности. Недостатком тепловой коагуляции является частичная потеря нативных (натуральных) свойств белками крови вследствие их денатурации. Химическую коагуляцию белков крови и ее фракций проводят в кислой среде при pH 3,5–4,5, а также коагулянтами. При этом осаждается до 98% белков, а их денатурация, как правило, выражена в меньшей, по сравнению с тепловой коагуляцией, степени. В то же время после химической коагуляции может возникнуть необходимость проведения дополнительных мероприятий, направленных на удаление коагулянтов и нейтрализацию кислот. Выделенные в ходе коагуляции белки крови используются в производстве продуктов питания или направляются на сушку.

5. Обесцвечивание. Основными технологическими методами обесцвечивания крови являются химические и тонкого эмульгирования. Химические методы основаны на удалении гема из молекулы гемоглобина или ослаблении его окраски.

Примером первого варианта является выдерживание крови в кислой среде в присутствии ацетона. Данный способ трудоемок и относительно дорог. Тонкое эмульгирование производят с помощью ультразвуковых гидродинамических преобразователей после смешивания крови с белково-жировой средой в присутствии молочных или растительных белков. Цвет полученной эмульсии зависит от дисперсности системы (чем она больше, тем светлее кровь) и соотношения добавленных в нее компонентов.

6. Консервирование. Охлажденную цельную кровь и ее компоненты направляют на переработку не позднее чем через 12 часов при условии их хранения при температуре не выше 4°C. Если кровь и ее фракции не могут быть использованы в указанные сроки, их консервируют химическими методами, замораживанием или высушиванием.

Кровь, предназначенную в пищу, консервируют поваренной солью (5% соли к массе), что позволяет хранить ее в течение 5 суток. Применяется также 25%-й раствор аммиака из расчета 10 мл на 1 кг стабилизированной крови. Такую кровь можно хранить в течение месяца, но перед использованием в пищу ее надо нагреть для удаления аммиака. Пищевую кровь можно консервировать замораживанием при температуре не выше минус 10°C, что дает возможность хранить ее в таком состоянии до шести месяцев. Техническую кровь консервируют аммиаком в той же пропорции, что и пищевую, а также крезолом или фенолом в концентрации 2–2,5%. При скармливании животным крови, стабилизированной поваренной солью, необходимо контролировать, чтобы соль в ней не превышала 1% к сухой массе рациона. Консервирование холодом обеспечивает более длительное хранение крови и ее компонентов. Замороженные блоки хранят при температуре -12°C в течение 6 мес. Высушивание крови и кровепродуктов обеспечивает их длительное сохранение в условиях нерегулированной температуры и существенно облегчает их транспортирование. Наиболее распространена распылительная сушка.

Утилизация крови. Запрещается использовать кровь животных, больных сибирской язвой, эмфизематозным карбункулом, сапом, бешенством, злокачественным отеком, инфекционной анемией, эпизоотическим лимфангоитом, браздотом овец, туляремией и ботулизмом. При указанных болезнях кровь утилизируют (сжигают). Кровь животных, больных туберкулезом, бруцеллезом, лептоспирозом, листереллезом, ящуром, а также кровь свиней, больных чумой и рожей, допускается к переработке после обезвреживания проваркой на технические цели. При заболеваниях животных финнозом, трихинеллезом, фасциолезом, эхино-

кокковом кровь используют после проварки в корм животным или птице. Для пищевых и фармацевтических целей используют кровь только от здоровых животных.

Из крови вырабатывают пищевые, технические, кормовые продукты и лечебные препараты [10-12].

Пищевые продукты. 2/3 крови идет на пищевые цели. Из крови убитых животных в мясной промышленности готовят колбасные изделия, зельцы и консервы (паштет белковый). Темный пищевой альбумин - для производства детского гематогена, гемостимулина. Его получают при высушивании форменных элементов или крови. Жидкая плазма и сыворотка крови, а также светлый пищевой альбумин все шире используются при получении многокомпонентных структурированных смесей (например, вареных колбас, сосисок, сарделек, рубленых полуфабрикатов, ветчинных изделий, фаршевых консервов и аналогов мясopодуктов). В колбасно-кулинарном производстве светлая кровяная сыворотка по питательности является полноценным заменителем яичного белка.

ФЭ крови возможно использовать для создания натуральных красителей при производстве вареных колбасных изделий с высокой долей замены основного сырья белковыми добавками животного и растительного происхождения, а также при использовании сырья с низким содержанием миоглобина.

В аспекте полного использования крови убойных животных огромный интерес представляет плазма, возникающая после сепарирования цельной крови. Благодаря наличию свертывающей системы плазма легко структурируется. Эти ее свойства дали возможность обосновать и реализовать на практике технологии сокодержащих белковых напитков, функциональных коктейлей, сброженных продуктов.

Кормовые продукты. Собранную свежую убойную кровь от здоровых животных можно использовать в качестве белковой добавки в рационы при откорме свиней и птицы. Если только что полученную кровь использовать в качестве добавки в рационы невозможно, то ее проваривают 40-50 мин и в этот же день вареную кровь направляют на корм животным. Самым ценным кормовым продуктом переработки технической крови и сухого фибрина является кровяная кормовая мука. Она представляет собой богатую протеином стерилизованную, высушенную и измельченную кровь с добавлением 5% измельченной кости. Технологический процесс производства кровяной муки состоит из тепловой обработки и последующей сушки. Особенно выгодно применение сухой плазмы в производстве комбикормов для по-

росят-сосунов. В последние годы из препаратов крови стали вырабатывать заменители цельного молока (ЗЦМ) и кормовые полуфабрикаты. Благодаря богатому химическому составу крови они имеют исключительно высокую биологическую ценность и потому особенно важны для эффективного выращивания молодняка сельскохозяйственных животных и птицы.

Лекарственные препараты. Из крови животных вырабатывают сравнительно широкий ассортимент препаратов, используемых в медицинской практике: аминокептид, пептон, гидролизин Л-103, БК-8, гематогены жидкий и детский, гемостимулин и др.

Наличие в крови убойных животных значительного количества железа предопределяет ее применение для выработки продуктов питания, способствующих профилактике и лечению железодефицитных анемических заболеваний, которым подвержена значительная часть населения, особенно дети и женщины на стадии деторождения и лактации. Преимущество использования крови убойных животных для указанных целей обусловлено и тем, что железо в ней находится в наиболее усвояемой гемовой форме, следовательно, вырабатываемые на ее основе продукты более эффективны в сравнении с другими железосодержащими препаратами.

Технические продукты. 1/3 крови идет на пищевые цели. Черный технический альбумин используют для приготовления клея в фанерной и мебельной промышленности. Преимуществом клея из альбумина является его высокая водупорность. Черный технический альбумин получают высушиванием как дефибринированной, так и стабилизированной крови всех видов животных. Также высокая пенообразующая способность частично гидролизированных белков нашла применение в производстве строительного пенобетона. Он представляет собой достаточно прочный и, в то же время легкий материал с высокой звукоизолирующей способностью и низкой теплопроводностью. Кровь служит ценным сырьем для изготовления ингибиторов кислотной коррозии. Они широко используются при химическом травлении металлов на металлургических и металлообрабатывающих предприятиях для уменьшения растворения металла кислотами и ограничения выделения водорода, приводящего к проявлению в металле хрупкости.

Внедрение схем комплексной переработки животноводческого сырья и отходов, в частности крови, позволяют более рационально ее использовать, а также увеличивать объем и ассортимент производимой продукции.

## Список литературы

1. Использование вторичных сырьевых ресурсов на мясоперерабатывающих предприятиях / О.В. Зинина, М.Б. Ребезов, А.А. Лукин, М.Ф. Хайрулин. – Челябинск, 2010.
2. Безбородов А.Г., Колесниченко И.С., Хлусов В.Н. Безопасность мяса. – М.: НИПЦ ВОСХОД-А, 2017. – 241 с.
3. Зинина О.В., Ребезов М.Б., Асенова Б.К. Инновационные технологии переработки сырья животного происхождения. – Алматы, 2015. Сер. Продукты питания животного происхождения.
4. Технологии первичной переработки продуктов животноводства. Технология мяса и мясопродуктов : лабораторный практикум / Г.М. Долженкова, З.А. Галиева, М.Б. Ребезов и др. – Алматы, 2015. Сер. Продукты питания животного происхождения
5. Хлусов В.Н. Утилизация биологических отходов: учеб.-метод. пособие. – М.: РАКО АПК, 2015. – 73 с.
6. Зинина О.В., Ребезов М.Б., Соловьева А.А. Биотехнологическая обработка мясного сырья : монография. – Великий Новгород, 2013.
7. Okuskhanova E. Study of organoleptic and microbial characteristics of meat pate / Okuskhanova E. and et al. // Scientific Issues of the Modernity: III International Scientific and Practical Conference, April 27, 2017, Dubai, UAE). – Dubai, 2017. – № 5 (21). –Vol. 4. – P. 12-15.
8. Okuskhanova E. Study of Water Binding Capacity, pH, Chemical Composition and Microstructure of Livestock Meat and Poultry / Okuskhanova E. and et al. // Annual Research & Review in Biology 14(3): 1-7, 2017; Article no.ARRB.34413
9. Прикладная биотехнология мяса и мясопродуктов / А.А. Нестеренко, М.Б. Ребезов, Н.В. Кенийз, Э.К. Окушанова. – М., 2019. Сер. Продукты питания животного происхождения
10. Максимюк Н.Н., Ребезов М.Б. Экологически чистая технология получения биопрепаратов // Актуальные проблемы ветеринарной медицины, животноводства, товароведения, обществознания и подготовки кадров на Южном Урале: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 70-летию УГИВМ. – Троицк, 1999. – С. 65-67.
11. Экологические аспекты производства и переработки продукции животного происхождения / М.Б. Ребезов, В.В. Антонов, А.Н. Трубеев и др. // Технологические проблемы производства продукции животноводства: матер. междунар. науч.-практ. конф., посвященной юбилею П.А. Кормщикова. – Троицк, 2003. – С. 8-11.
12. Зинина О.В., Вафина Г.Т., Ребезов М.Б. Перспективы использования вторичного сырья пищевых производств // Качество продукции, технологий и образования: матер. науч.-практ. конф. – Магнитогорск, 2007. – С. 50-51.

## Сведения об авторах

**Горелик Ольга Васильевна** – д-р с.-х. наук, проф., проф. каф. производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург. E-mail: tatyananick@mail.ru.

**Харлап Светлана Юрьевна** – канд. биол. наук, зав. каф. химии, почвоведения и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург. E-mail: tatyananick@mail.ru.

**Голомага Владимир Сергеевич** – ст. преп., каф. химии, почвоведения и агроэкологии, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург. E-mail: tatyananick@mail.ru.

**Хлусов Валентин Николаевич** – канд. с.-х. наук, доц., ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения АПК», г. Москва. E-mail: tatyananick@mail.ru.

**Колесниченко Иван Степанович** – канд. с.-х. наук, проф., ФГБОУ ДПО «Российская академия кадрового обеспечения АПК», г. Москва. E-mail: tatyananick@mail.ru.

УДК 641.1

**ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПИЩЕВЫХ ВЕЩЕСТВ**

Долматова И.А., Зайцева Т.Н., Рябова В.Ф.

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

**Аннотация.** Рассмотрены физиологические особенности и последствия для организма человека нерационального питания с учётом важных различий: возраста, физических и психологических нагрузок, наличия различных заболеваний. Недостаток в пище животного белка, однообразное питание вкупе с низким потреблением овощей и фруктов, характерные для россиян, негативно сказываются на состоянии здоровья, снижают адаптационные возможности организма, вызывают переутомление, снижение работоспособности, развитие заболеваний. Рассмотрено влияние химического состава продуктов питания и способов их кулинарной обработки на работу важных систем и органов человека. Показана возможность корректировать физиологическое состояние организма человека и его адаптационные возможности с помощью натуральных пищевых продуктов. При составлении пищевого рациона необходимо учитывать различия в пищевой ценности продуктов питания, степень их усвоения и удовлетворения потребности человека в пищевых веществах. Такое соотношение может быть достигнуто при использовании комбинированных продуктов, которые по составу и свойствам максимально соответствуют потребностям людей.

Разработка полноценных рационов (по количеству и качеству белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ) или разработка комбинированных продуктов, содержащих достаточное количество незаменимых аминокислот, полиненасыщенных высших жирных кислот и неперевариваемых углеводов, это возможность сохранить здоровье и активное долголетие.

**Ключевые слова:** пищевые вещества, физиология питания, рацион питания, функциональные свойства, адекватное питание.

**Введение**

Одним из главных факторов, определяющих здоровье населения Российской Федерации, является организация рационального питания. Рациональное питание способствует нормальному функционированию организма, профилактике заболеваний, создает условия для адекватной адаптации к окружающей среде.

Для организма человека основным источником поступления белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных веществ является пища, при помощи которой осуществляется непрерывный обмен веществ. Причем обмен веществ у взрослого и детского организма имеет принципиальные отличия. Так, обмен веществ у детей происходит быстрее, чем у взрослых, поэтому потребности в пищевых веществах повышенные. Также у детей более высокие физические и психологические нагрузки, которые требуют активной работы мозга и нервной системы, что является дополнительным условием обязательного присутствия полноценного суточного рациона [1].

Кроме того, формирование органов пищеварения и их работа зависит от частоты и регулярно-

сти принятия пищи. Нерегулярный режим питания может привести к проблемам с моторной и секреторной функциями желудка, а также к деформациям внутренних органов.

От организации правильного и качественного питания организма человека напрямую зависит качество его жизнедеятельности. Если организм не получает необходимого набора питательных веществ, то активируется механизм, который повышает уровень активности ряда гормонов, в частности кортизола, приводящего нервную систему в состояние возбуждения, что препятствует нормальной работоспособности. При неправильном питании человек чувствует себя уставшим или, наоборот, напряженным и нервным, что приводит к проблемам адаптации и истощению адаптационных резервов. Специалисты отмечают, что такие проявления нашли себя и в развитии опорно-двигательной, пищеварительной, сердечно-сосудистой систем, также отмечен рост нервно-психических заболеваний, болезней органов дыхания, зрения.

В настоящее время существует целый ряд проблем, связанных с состоянием питания населения. Во-первых, это нехватка животного белка, что напрямую связано с переутомлением, снижением работоспособности, ухудшением успеваемости. При этом необходимо учитывать не только

его количество, но и качество – это: соотношение заменимых и незаменимых аминокислот – в белке должно быть не менее 32% незаменимых аминокислот; близость аминокислотного состава белка к аминокислотному составу усредненного белка тела человека; легкость переваривания в ЖКТ.

Также развитие белковой недостаточности негативно сказывается на функционировании пищеварительной и эндокринной систем, нарушается усвоение организмом питательных веществ и, как следствие, атрофия мышечных тканей.

Во-вторых, однообразие питания и недостаток в меню овощей и фруктов, молочных продуктов. Это приводит к риску возникновения заболеваний, связанных с пищеварительным трактом. Недостаточность витаминов в питании повышает риск заболеваний инфекционными болезнями. Недостаточное потребление овощей и фруктов способствует развитию и прогрессированию патологии гепатобилиарной системы и дисфункции кишечника.

В состав суточного рациона входят те или иные продукты питания, потребляемые в натуральном виде или после различной механической и тепловой кулинарной обработки. Каждый пищевой продукт отличается особым, присущим ему свойством воздействия на организм.

При составлении рациона необходимо помнить, что разные продукты различаются по своей пищевой ценности, однако среди них нет исключительно вредных или исключительно полезных. Продукты полезны при соблюдении принципов сбалансированного, адекватного питания, но могут оказать вред при нарушении указанных принципов.

Среди продуктов питания отсутствуют такие, которые удовлетворяют потребность человека во всех пищевых веществах. Перспективно использование комбинированных продуктов, которые по составу и свойствам максимально соответствуют потребностям людей.

#### **Методология исследования**

Рацион питания человека состоит из продуктов питания, потребляемых в натуральном виде или после различной кулинарной обработки. Пищевые продукты отличаются разнообразными свойствами и способами воздействия на организм, что связано с особенностями их химического состава. Поэтому суточный рацион составляют с оптимальным подбором всех жизненно необходимых веществ. При составлении рационов питания лечебного назначения некоторые пищевые продукты ограничивают количественно или полностью исключают, другие допускают только после специальной кулинарной обработки, используя различные методы щажения [8].

При составлении пищевого рациона необходимо учитывать различия в пищевой ценности продуктов

питания, степень их усвоения и удовлетворения потребности человека во всех пищевых веществах. Такое соотношение может быть достигнуто только при использовании комбинированных продуктов, которые по составу и свойствам максимально соответствуют потребностям людей.

Пищевые продукты, готовые блюда и кулинарные изделия оказывают различные функциональные свойства на организм. Функциональные свойства пищевых продуктов представлены в таблице [9, 11].

Поступление белков в организм обеспечивается путём регулярного потребления мясных и рыбных продуктов. Продукты данной группы служат источником полноценного белка, так как содержат все незаменимые аминокислоты. Эти продукты обеспечивают организм человека полноценными, легко усвояемыми животными протеинами, используемыми для построения тканей, а также являются источником жира и дополнительных факторов питания – жизненно необходимых полиненасыщенных жирных кислот, витаминов и минеральных веществ. Кулинарная обработка оказывает существенное влияние на их перевариваемость. Установлено, что 250 г отварной телятины покидают желудок за 2-3 часа, вареной говядины – через 3-4 часа, жареной говядины – через 4-5 часов, рубленые блюда перевариваются быстрее. Мясные полуфабрикаты, богатые соединительной тканью, лучше отваривать, так как этот вид тепловой кулинарной обработки обеспечивает эффективное расщепление соединительнотканых белков [2, 3, 8].

Темпы переваривания мяса рыб и нерыбного водного сырья сопоставимы со временем переваривания белков молока, что обусловлено низким содержанием в мясе рыб соединительной ткани и относительно низким содержанием оксипролина.

За счёт употребления хлебных изделий человек почти полностью покрывает потребность в железе, получает значительную долю марганца и фосфора. Существенным недостатком минерального комплекса хлеба является малое содержание кальция и неблагоприятное соотношение его с фосфором и магнием. В хлебе в недостаточном количестве содержатся калий, хром, кобальт и некоторые другие элементы. Поэтому повышение минеральной ценности является также актуальной проблемой. Хлеб богат витаминами Е и покрывает около 1/3 потребности в витаминах В<sub>6</sub>, В<sub>9</sub> и холине, но беден витаминами В<sub>2</sub> и В<sub>3</sub>. Достаточно высоким содержанием витаминов В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub> и РР характеризуется хлеб из муки низких сортов. Повышает витаминную ценность хлеба обогащение муки синтетическими витаминами, рациональное использование зародышей злаков, добавление в тесто препаратов, полученных из пивных дрожжей. Хлеб дает около половины необходимого количества усвояемых и более половины неусвояемых углеводов [4, 6].

Функциональные свойства пищевых продуктов

Свойства	Продукты
Возбуждают центральную нервную систему	Кофе, какао, шоколад, пряности, специи, крепкий чай и отвары, мясные и рыбные бульоны, сыр
Ослабляют секрецию желудочного сока	Жиры, белок куриного яйца в сыром виде, холодные блюда
Обладают слабым сокогонным действием	Отварное мясо и рыба, белый хлеб, молочные продукты, яйца всмятку, вареные овощи и фрукты, каши
Обладают сильным сокогонным действием	Продукты, богатые химическими раздражителями: чеснок, редька, лук, редис, репа, горчица, шпинат, щавель, петрушка, кислые сорта овощей (за счёт присутствия лимонной и яблочной кислот), грибные отвары, крепкие мясные и рыбные бульоны, поваренная соль, в т.ч. различные соленья, маринады, горячие блюда
Медленно усваиваются и долго задерживаются в желудке	Свежий и теплый хлеб, тугоплавкие жиры (говяжий, бараний, свиной), жареное мясо, рыба, гуси, утки, пюре из гороха и бобов
Быстро эвакуируются из желудка	Молоко, кисломолочные продукты, яйца всмятку, фрукты, ягоды, картофельное пюре, блюда из рубленого мяса и рыбы, каши из молотых круп, макаронные изделия, белый вчерашний хлеб
Вызывают метеоризм	Бобовые, свежий хлеб (особенно ржаной), белокочанная капуста, цельное молоко, газированные напитки
Послабляющее действие (усиление перистальтики кишечника)	Растительное масло, чернослив, ксилит, сорбит, холодные овощные соки, компот, кефир, холодные газированные минеральные воды, овощи и фрукты (кроме обладающих вяжущим вкусом, например черемухи, черноплодной рябины и т.д.), холодная пища
Закрепляющее действие (ослабляют перистальтику кишечника)	Горячие блюда, рисовая и манная каша, кисели, мучные блюда (пироги, блины), яйца всмятку, свежий хлеб, творог, крепкий чай, какао, шоколад, черника, красное виноградное вино
Желчегонное действие	Растительные масла (особенно оливковое, подсолнечное), богатые клетчаткой овощи, помидоры, редька, ксилит, сорбит

Высокая усвояемость веществ хлеба объясняется тем, что он имеет пористый, эластичный мякиш, в котором белки находятся в оптимальной степени денатурации, крахмал клейстеризован, сахар растворён, жиры эмульгированы, оболочные частицы зерна сильно набухшие и размягченные. Такое состояние веществ и пористая структура мякиша делают их легкодоступными для действия ферментов пищеварительного тракта человека [10].

Нигде не содержится такого количества водорастворимых витаминов, минеральных солей, ферментов, органических кислот и дубильных веществ, как в овощах и фруктах. Регулярное их употребление способствуют желчеотделению, стимулируют перистальтику кишечника и содействуют выведению холестерина. Клеточные стенки растений содержат пектиновые вещества (полимеры, состоящие из галактуроновых кислот), которые при набухании в организме образуют труднорастворимые комплексы с органическими и неорганическими токсинами (радионуклидами, тяжёлыми металлами и т.д.). Способность пектиновых веществ к адсорбции токсинов зависит от содержания свободных (неэтерифицированных) карбоксильных групп.

Кроме того, плоды и овощи отличаются низкой калорийностью и большим объёмом, что при

незначительном приёме вызывает чувство насыщения. Продукты растительного происхождения содержат тартроновую кислоту, которая тормозит превращение углеводов в жиры; зольный остаток большинства плодов и овощей имеет щелочную реакцию, что служит регулятором равновесия pH в организме (препятствует ацидозу).

Сбалансированным химическим составом отличаются молочные продукты. Это обусловлено благоприятным соотношением входящих в состав молочного белка аминокислот, хорошей усвояемостью жира, находящегося в состоянии тонкой эмульсии, особыми свойствами молочного сахара, витаминным и минеральным составом молока. Кисломолочные продукты содержат значительное количество витаминов группы В (особенно В<sub>2</sub>), обладают выраженными антимикробными свойствами антибиотических веществ, что придает им исключительную ценность [5, 7].

Таким образом, натуральная пища является идеальной для человека, так как создана в рамках экологической системы, адаптированной для него. Нормальное функционирование организма и достижение максимального физиологического эффекта может наблюдаться только при адекватном, сбалансированном питании. Однако прогресс в области разработки генномодифицированных продуктов неукоснительно повлек за собой изме-

нения в системе питания. Изменение темпа жизни, стресс и психоэмоциональное напряжение отрицательно повлияло на пищевой статус человека, что вызвало нарушение физиологических функций. Все это обусловило распространение «болезней цивилизации» – гипертонической болезни, ишемической болезни сердца, ожирения, сахарного диабета и т.д.

#### Список литературы

1. Долматова И.А., Быстрова А.А., Миromanова Ю.В. Продукты профилактического назначения как элемент организации здорового питания // Современные исследования в развитии общественного питания и пищевой промышленности: матер. междунар. науч.-практ. и науч.-метод. конф. проф.-препод. состава и аспирантов. 8 апреля 2016г. – Белгород, БУКЭП, 2016. – С. 137-142.
2. Показатели качества блюд из мяса птицы, приготовленных в пароконвектомате / И.А. Долматова, Д.Э. Миллер, А.А. Быстрова, Е.Е. Ходакова // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 344-347.
3. Сохранение пищевой ценности блюд из мяса птицы / И.А. Долматова, Д.Э. Миллер, Т.И. Курочкина [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – № 23. – С. 133-137.
4. Долматова И.А., Персецкая К.М., Иванова Г.Д. Перспективные направления производства хлебобулочных изделий функциональной направленности // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: матер. междунар. науч.-техн. конф. В 2 ч. Ч.1. – Воронеж: ВГУИТ, 2014. – С. 409-414.
5. Кочеткова А.В., Мажитова Н.Р., Долматова И.А. Кисломолочные продукты нового поколения // Молодежь и XXI век 2017: матер. VII междунар. конф. (21-22 февраля 2017 года): в 4-х т. Т. 3. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т., 2017. – С. 128-130.
6. Персецкая К.М., Рябова В.Ф., Долматова И.А. Особенности химического состава и пищевой ценности хлебобулочных изделий функционального назначения // Кузбасс: образование, наука: матер. Инновационного конвента. – Кемерово; Новокузнецк: Изд. центр СиБГИУ, 2014. С. – 164-166.
7. Прогрессивные технологии производства йогурта: монография / И.А. Долматова, Н.И. Барышникова, М.А. Зяблицева, Т.Н. Зайцева, В.Ф. Рябова. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2015. – 113с.
8. Рябова В.Ф., Миллер Д.Э. Изменение пищевой ценности блюд из мяса птицы при тепловой обработке // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 75-й междунар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – Т.1. – С. 244-247.
9. Физиологические эффекты и роль функциональных продуктов питания / В.Ф. Рябова, Е.Н. Малова, Т.И. Курочкина [и др.] // Молодой ученый. – 2015. – №6. – С. 204-207.
10. Тепомес К.Е., Седыченкова Е.В., Зайцева Т.Н. Характеристика ассортимента пшеничного хлеба функционального назначения // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений: матер. VI междунар. науч.-техн. конф. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – С. 537-542.
11. Цыганова, Т.Б., Классина, С.Я. Теория функциональных систем как методологическая основа концепции функционального питания человека / Т.Б. Цыганова, С.Я. Классина. // Тюменский медицинский журнал. – 2016. – Т. 18. – №3. – С. 3-7.

#### Сведения об авторах

**Долматова Ирина Александровна** – канд. с.-х. наук, доц., доц. каф. ССиТПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: dl.alina@rambler.com.

**Зайцева Татьяна Николаевна** – канд. биол. наук, доц., доц. каф. ССиТПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tatyananisk@mail.ru.

**Рябова Вера Федоровна** – ст. преп. Каф. ССиТПП, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: vera\_ryabova1@mail.ru.

УДК 621.798-488

## ВЫСОКОБАРЬЕРНАЯ УПАКОВКА ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В., Васькина А.К., Эргардт Р.В.

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

**Аннотация.** Одна из главных задач пищевой упаковки – сохранение свойств продукта при транспортировке, хранении и реализации. Упаковочный материал должен иметь достаточную механическую прочность, герметичность, химическую стойкость, оптимальные показатели барьерных свойств: проницаемость по отношению к газам, воде, парам, жирам, ароматическим веществам. Наилучшие барьерные свойства по отношению к кислороду имеет сополимер этилена и винилового спирта (EVOH). В работе определены барьерные свойства упаковки и проведено исследование влияния упаковки с барьерным слоем EVOH на срок хранения и качество мясных продуктов. Объектами исследования являлись контейнеры для пищевых продуктов на основе полипропилена с внутренним барьерным слоем EVOH. Определено, что паропроницаемость барьерной пленки резко возрастает при относительной влажности окружающей среды выше 75 %, кислородопроницаемость материала с повышением влажности также растет. Оценено влияние упаковки на срок хранения мяса посредством определения перекисного числа и рассчитаны ее относительные показатели качества дифференциальным методом. Установлено, что использование контейнеров с барьерным слоем EVOH позволяет продлить срок хранения скоропортящегося продукта – мяса более чем на сутки по сравнению с контейнером из полипропилена.

**Ключевые слова:** упаковка, сополимер этилена и винилового спирта (EVOH), барьерные свойства, кислородопроницаемость, паропроницаемость, срок хранения.

### Введение

Привычные упаковочные материалы в виде бумаги, полиэтиленовой пленки, стекла не торопятся сдавать свои позиции на рынке упаковки и уходят в отставку. Тем не менее в настоящее время разработано огромное количество новых упаковочных материалов, способных решать многие неразрешимые ранее проблемы транспортировки и хранения товаров при традиционной упаковке в коробки, банки или пакеты [1-3]. На сегодняшний день популярность набирает высокобарьерная упаковка, для создания которой во всем мире используются такие материалы, как фольга, EVOH, PAN, COP, PVdC, PVOH, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> [4-7].

Все пищевые продукты состоят из первичных биоматериалов, которые со временем неизбежно разлагаются и портятся. Ухудшение качества и порчу пищевых продуктов предотвратить невозможно, однако можно замедлить процессы ухудшения качества, для чего необходим правильный подбор рецептур, способов технологической обработки, упаковки, хранения и транспортировки пищевых продуктов [2].

Для продления сроков хранения пищевых продуктов необходимо знать механизмы их порчи. Продукт может испортиться по трем причинам:

1) внутреннее биологическое ухудшение качества связано с биологическими функциями. В свежем мясе продолжают протекать процессы в живых тканях. Миоглобин, придающий мясу красный цвет, продолжает взаимодействовать с атмосферным кислородом: он окисляется и преобразуется в метмиоглобин. Цвет мяса при этом изменяется от красного до коричневого (подобное изменение цвета снижает потребительскую привлекательность продукта). При расщеплении белков мясо приобретает кашеобразную консистенцию;

2) внешнее биологическое ухудшение качества – это результат работы микроорганизмов. В большинстве продуктов питания присутствуют плесень, бактерии, дрожжи. Как правило, они безвредны или даже полезны, однако в некоторых случаях могут сыграть негативную роль;

3) абиотическое ухудшение качества продуктов обусловлено изменениями химического или физического характера, не зависящими от биологического агента.

Для того чтобы дольше сохранить продукт, используется упаковка. Но не всякая упаковка может защитить продукт от порчи, проникновения влаги или неприятных запахов. Поглощение нежелательных частиц из атмосферы, даже в микроколичествах, может вызвать неприятный запах или привкус. Пары влаги легко проникают во

многие упаковочные материалы. Недостаток или избыток влаги может стать ухудшающим фактором. Для регулирования содержания влаги необходимо учитывать паропроницаемость различных упаковочных материалов.

Вариантом увеличения сроков хранения мясных продуктов является использование многослойных упаковочных материалов [6-9]. Различные комбинации слоев позволяют добиться новых потребительских свойств пленок и расширить область их использования. Порядок чередования слоев, т.е. структура многослойного упаковочного материала, определяется его функциональным значением. Внешний слой осуществляет защиту от внешнего воздействия, а также служит основой для нанесения красочной печати. Обычно это полиэфирные, полипропиленовые и полиамидные пленки. Средний или внутренний слой обеспечивает барьерные свойства. В работе [9] разработана рецептура упаковочной пятислойной пленки с барьерным слоем на основе EVOH для упаковки скоропортящихся пищевых продуктов, в том числе с выступающими острыми краями.

К самым распространенным барьерным пленкам, применяемым в упаковочных средствах, относятся поливинилиденхлорид (PVDC), этиленвиниловый спирт (EVOH), полиэтилентерефталат (PET), полихлортетрафторэтилен (PCTFE), нейлон и нитриловые сополимеры (табл. 1) [6].

Пленки из этиленвинилового спирта сегодня называют едва ли не самыми популярными среди прозрачных барьерных пленок. Главная особенность этих пленок – прекрасные противокислородные барьерные свойства, которые улучшаются с увеличением ее толщины. Упаковка из EVOH не пропускает запахи, но негативно реагирует на увлажнение поверхности. Ее используют для термомоформования и производства объемной упаковки [8].

В структуре плёнок можно комбинировать разные по свойствам и толщине слои полимеров, менять их порядок и расположение, модифицировать отдельные слои специальными добавками, варьировать общую толщину. Таким образом, можно получить практически неограниченные возможности для разработки требуемых параметров упаковки.

Наличие барьерного слоя EVOH является актуальным решением проблемы увеличения срока хранения и качества для производителей скоропортящихся продуктов.

Барьерный слой защищает скоропортящийся продукт от взаимодействия с кислородом, что позволяет продлить срок годности, так как в бескислородной среде рост аэробных бактерий замедляется [10]. Даже самые лучшие полимерные упаковки имеют на порядок выше газопроницаемость в отличие от материала EVOH. По проницаемости слой EVOH можно сравнить с алюминием той же толщины.

Цель работы – исследование влияния упаковки с барьерным слоем EVOH на срок хранения и качество охлажденных мясных продуктов.

#### Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись контейнеры для пищевых продуктов на основе полипропилена (PP) с внутренним барьерным слоем EVOH (PP/EVOH/PP).

Определение паропроницаемости проводили в соответствии с ГОСТ 9.507-88 «Единая система защиты от коррозии и старения. Материалы герметизирующие. Методы испытаний».

Определение кислородопроницаемости осуществляли на анализаторе кислорода модели 8001 фирмы Systech Instruments при температуре 23 °C и относительной влажности 0 и 80 %.

Таблица 1

Барьерные свойства пластмасс, используемых для упаковки мяса и мясных продуктов при стандартных условиях

Полимер	Аббревиатура	Кислород, мл/м <sup>2</sup> 24 ч	Углекислый газ, мл/ м <sup>2</sup> 24 ч	Водяные пары, г/м <sup>2</sup> 24 ч
Полиэтилен	PE	4000-13000	8000-80000	14-20
Полиэфир	PETP	500-4000	4000-10000	5-10
Полиамид (нейлон)	PA	30-110	150-400	40-140
Поливинилхлорид	PVC	100-7500	800 - 50000	50-100
Поливинилиденхлорид	PVDC	8-26	50 - 150	1-5
Сополимер этилена и винилового спирта	EVOH	0,4 – 0,6	0,5 - 2	40-80
Полипропилен	PP	1300-6000	7000 - 12000	8-14
Полистирол	PS	2600-8000	1000 - 26000	>100

Для исследования влияния упаковки на срок хранения в качестве скоропортящегося продукта было взято мясо свинины. За показатель качества мяса использовали степень свежести жира, определяемую по перекисному числу. Метод основан на окислении йодистоводородной кислоты пероксидами, содержащимися в жире, с последующим титрованием выделившегося йодида тиосульфатом натрия. В соответствии с величиной перекисного числа (% йода) определяют степень свежести жира по табл. 2 [11].

Таблица 2

Степень свежести жира в соответствии с величиной перекисного числа

Степень свежести жира свинины, говядины и баранины	Перекисное число, % йода
Свежий	до 0,03
Свежий, не подлежит хранению	от 0,03 до 0,06
Сомнительной свежести	от 0,06 до 0,09
Испорчен	более 0,10

Свежее мясо свинины упаковывали в полипропиленовые контейнеры и контейнеры с барьерным слоем PP/EVOH/PP, затем они запаивались полимерной пленкой саран и экспонировались при температуре охлаждения (0-6) °С.

Для оценки уровня качества использовался дифференциальный метод, когда качество продукции оценивают сопоставлением единичных показателей качества данного образца с единичными показателями эталонного образца [12].

### Результаты и их обсуждение

Паропроницаемость барьерной пленки PP/EVOH/PP, г/м<sup>2</sup>·сут, определена при комнатной температуре (20 ± 2) °С в условиях относительной влажности 56, 75 и 100%. Зависимость паропроницаемости барьерной пленки PP/EVOH/PP от времени экспозиции в условиях различной относительной влажности представлена на рис. 1.

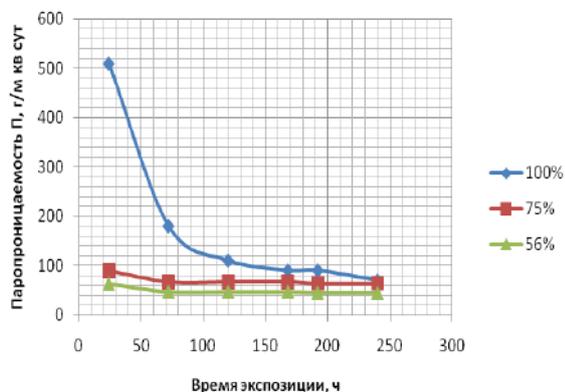


Рис. 1. Зависимость паропроницаемости от времени экспозиции в условиях различной относительной влажности

При комнатной температуре и относительной влажности 100% изменение значений паропроницаемости резко снижается в первые сутки экспозиции. При дальнейшей экспозиции значения паропроницаемости находятся примерно на одном уровне (70–100 г/м<sup>2</sup>·сут).

Влияние температуры на паропроницаемость барьерной пленки PP/EVOH/PP определена в условиях относительной влажности 100% при комнатной температуре (20 ± 2) °С и температуре хранения в торговых холодильниках (4 ± 2) °С. Полученные результаты представлены на рис. 2.

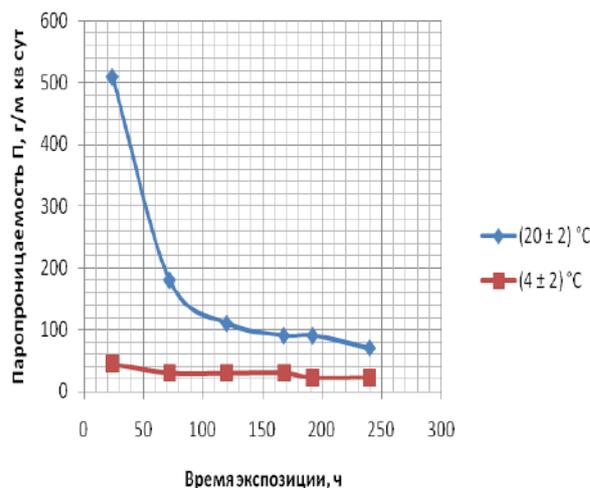


Рис. 2. Зависимость паропроницаемости от времени экспозиции в условиях различной температуры

Паропроницаемость зависит от температуры экспозиции: при хранении в условиях охлаждения (температура (4 ± 2) °С паропроницаемость барьерной пленки в 11 раз меньше, чем при хранении в условиях комнатной температуры ((20 ± 2) °С). В реальных условиях хранения продукта температурные режимы в торговых и бытовых холодильниках подвергнуты колебаниям [4]. Изменение температуры среды при хранении и транспортировке негативно воздействует на качество пищевых продуктов. Расчет по уравнению Аррениуса [4] показывает, что повышение температуры на 10°С приводит к сокращению срока хранения с двух суток при температуре 5 °С до 0,57 сут при 15°С.

Известно, что изменение влагосодержания пищевых продуктов негативно влияет на их качество и сроки хранения [4-5]. В условиях пониженной влажности продукт может терять влагу, а при повышенной влажности он будет ее аккумулировать. Поэтому степень воздействия влаги на продукт будет определять защитная упаковка и ее барьерные свойства.

Из литературы [4] известно, что свежее мясо обладает высокой активностью воды  $a_w \cong 0,95$ . Поэтому для сохранения качества мяса относи-

Таблица 4

Обработка результатов исследования перекисного числа мяса – свинины

Параметры	Материал					
	PP			PP/EVON/PP		
Время экспозиции, ч	48	120	240	48	120	240
Показатель оцениваемого образца	0,032	0,099	0,16	0,029	0,088	0,14
Базовый эталонный показатель	0,025					
Относительный показатель качества	0,78	0,25	0,16	0,86	0,28	0,18

тельная влажность в свободном пространстве закрытого контейнера должна быть примерно 95 %. Хранение свежих продуктов в условиях повышенной влажности имеет свои недостатки. Относительно небольшие колебания температуры могут вызвать конденсацию влаги на поверхности упаковки или продукта. Эта влага будет способствовать росту всех видов микроорганизмов. Поэтому низкая паропроницаемость упаковки при температурах холодильного хранения (0–6)°С является положительным фактором.

Кислородопроницаемость была определена при температуре 23 °С и влажностях 0 и 80 %. Для пленки с барьерными свойствами PP/EVON/PP показатели кислородопроницаемости составили  $7,68 \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$  и  $28,2 \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$  при относительных влажностях 0 и 80 % соответственно. Кислородопроницаемость зависит от относительной влажности окружающего воздуха: с повышением влажности кислородопроницаемость материала EVON растет. Для пленки из PP показатель кислородопроницаемости составляет  $321 \text{ см}^3/\text{м}^2 \cdot 24 \text{ ч}$ .

Определение степени окисления жира по перекисному числу проводились на образцах свежего мяса (свинины), которые были упакованы в стерильные контейнеры из PP и контейнеры с барьерным слоем EVON. Контейнеры запаивались пленкой саран и экспонировались при температуре охлаждения (0, +6) °С. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты определения перекисного числа, % йода

Образец	Свежее мясо	После экспозиции		
		48 ч	120 ч	240 ч
PP	0,025	0,032	0,099	0,16
PP/EVON/PP	0,025	0,029	0,088	0,14

После экспозиции в течение 48 ч мясо, упакованное в контейнер с барьерным слоем, остается свежим, так как перекисное число ниже 0,03 % йода, а в полипропиленовом контейнере уже переходит в категорию свежего, но не подлежащего дальнейшему хранению. После пяти суток хранения мясо, упакованное в контейнер с барьерным слоем, соответствует категории сомнительной свежести, а в полипропиленовом контейнере – нет.

Для расчета показателя качества свежего мяса свинины за значение базового эталонного показателя взято перекисное число свежего мяса свинины – 0,025% йода. За значение показателя оцениваемого образца – перекисные числа мяса после его экспонирования в упаковках при температуре хранения. Результаты представлены в табл. 4.

Из полученных данных видно, что показатель качества мяса свинины снижается, но значения показателя в упаковке из многослойной пленки с барьерным слоем EVON выше значений показателя качества в упаковке из полипропилена. Можно сделать вывод, что мясные продукты целесообразно хранить в упаковке с барьерным слоем EVON.

Приемлемый срок хранения предполагает, что продукт в течение этого времени сохраняет свои характерные органолептические, химические, микробиологические и физические характеристики. За показатель качества выбрано перекисное число. На рис. 3 представлена общая схема определения срока хранения свежего мяса при его охлаждении.

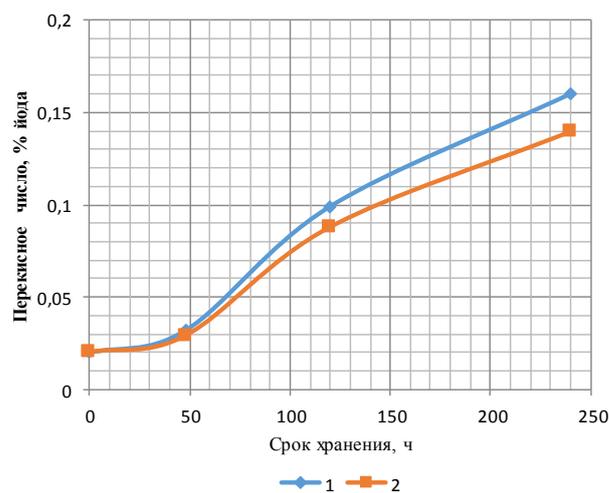


Рис. 3. Схема определения срока хранения свежего мяса по перекисному числу:  
1 – PP, 2 – PP/EVON/PP

Мясо, упакованное в полипропиленовый контейнер, переходит в категорию испорченного (перекисное число более 0,1% йода) через 120 ч, в то же время мясо, упакованное в контейнер с барьерным слоем EVONH – через 150 ч. Таким образом, более чем на сутки возрастает срок хранения свежего мяса, упакованного в контейнер с барьерным слоем EVONH.

### Заключение

В работе рассмотрена проблема сохранения качества мясных продуктов при длительном хранении. Одним из вариантов решения данной проблемы является использование упаковки, содержащей барьерный слой EVONH. В работе исследованы барьерные свойства упаковки, оценено влияние упаковки на срок хранения мяса посредством определения перекисного числа, определены относительные показатели качества дифференциальным методом. Установлено, что в условиях высокой относительной влажности паропроницаемость барьерной пленки находится на уровне ПП, а кислородопроницаемость ниже в 11 раз. Паропроницаемость многослойной пленки с EVONH при хранении в условиях охлаждения и высокой относительной влажности находится в диапазоне 45-22 г/м<sup>2</sup>·сут, что способствует сохранению влаги в продукте. Кислородопроницаемость барьерной пленки в условиях высокой относительной влажности увеличивается, что является одной из причин порчи продукта.

Таким образом, использование контейнеров с барьерным слоем EVONH позволяет продлить срок хранения мяса более чем на сутки по сравнению с контейнером из полипропилена.

### Список литературы

1. Гуль В.Е., Беляцкая О.Н. Пленочные полимерные материалы для упаковки пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1968. – 278 с.
2. Коулз Р., МакДауэлл Д., Кирван М. Дж. Упаковка пищевых продуктов. – СПб.: Профессия, 2008. – 416 с.
3. Медяник Н.Л., Коляда Л.Г., Пономарев А.П. Способы упаковывания пищевых продуктов: учеб. пособие. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. – 77 с.
4. Срок годности пищевых продуктов: Расчеты и испытания / под ред. Р. Стеле; пер. с англ. В. Широкова. – СПб.: Профессия, 2006. – 480 с.
5. Кирш И.А. Упаковка мясной продукции // Пищевая промышленность. – 2006. – №5. – С. 22-23.
6. Барьерные пленки для упаковки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://newchemistry.ru/letter.php?n\\_id=2258](http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=2258).
7. Коляда Л.Г., Тарасюк Е.В. Исследование качества упаковки с барьерным слоем EVONH // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2019. – № 1 (54). – С. 81-86.
8. Высокобарьерная упаковка сегодня [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.innovanews.ru/info/news/hightech/1349/>.
9. Многослойная пленка с барьерным слоем на основе EVONH / Р. Р. Гараев, С. Ю. Софьина, Р. М. Гарипов, О. В. Стоянов // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – №14. – С. 155 -158.
10. Всё о барьерном слое EVONH [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://u2b.ru/vsyo-ob-barernom-sloe-evoh>.
11. Антипова Л.В., Глотова И.А., Рогов И.А. Методы исследования мяса и мясных продуктов. – М.: КолосС, 2004. – 571 с.
12. Григорьева Р.З. Товароведение продовольственных товаров: учеб. пособие. – Кемерово: Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2004. – 116 с.

### Сведения об авторах

**Коляда Людмила Григорьевна** – канд. техн. наук, доц., доц. каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: kl174@mail.ru

**Тарасюк Елена Владимировна** – канд. хим. наук, доц., доц. каф. химии, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: gepod@inbox.ru

**Васькина Арина Константиновна** – студ., каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: arinavaskina@yandex.ru

**Эргардт Регина Валерьевна** – студ., каф. стандартизации, сертификации и технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: regino4ka-ergard@mail.ru

УДК 517.642.8

## ВЫЧИСЛЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ С БОЛЬШИМИ НОМЕРАМИ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЗАДАЧ МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ГАЛЕРКИНА

Кадченко С.И.<sup>1</sup>, Закирова Г.А.<sup>2</sup>, Рязанова Л.С.<sup>1</sup>, Торшина О.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск

**Аннотация.** Современные методы нахождения собственных значений спектральных задач, порожденных линейными дифференциальными и интегральными операторами, построены на сведениях их к нахождению собственных значений матриц. Классические методы нахождения приближенных собственных значений матриц, требуют весьма значительного объема вычислений. При этом полученные матрицы очень часто являются плохо обусловленными из-за слабой разделенности их собственных значений. Кроме того, задача нахождения всех точек спектра матриц высокого порядка еще не имеет удовлетворительного решения.

На основе метода Галеркина авторами статьи разработан метод, позволяющий вычислять собственные значения дискретных полуограниченных операторов, используя простые линейные формулы. Он был назван модифицированным методом Галеркина. Этот метод позволяет вычислять собственные значения с любым номером независимо от того, известны ли собственные значения с предшествующими номерами или нет, что значительно уменьшает объем вычислений.

В работе приведены результаты вычислений по линейным формулам собственных значений с большими номерами двух спектральных задач, которые сравнивались со значениями, вычисленными по асимптотическим формулам. Сравнение результатов показывает, что собственные значения с достаточно большими номерами практически совпадают. Это подтверждает тот факт, что для рассматриваемых спектральных задач вычислять собственные значения с большими номерами можно по линейным формулам.

**Ключевые слова:** сепарабельные гильбертовы пространства, дискретные полуограниченные операторы, собственные функции и собственные значения операторов, метод Галеркина, асимптотические формулы.

### Введение

В работах [1–15] получены линейные формулы для вычислений приближенных собственных значений дискретных полуограниченных снизу операторов и, на их основе разработаны алгоритмы решения обратных спектральных задач. Эти формулы позволяют вычислять собственные значения указанных операторов для любого номера независимо от того, известны ли собственные значения с предыдущими номерами. В вышеотмеченных статьях приведены многочисленные примеры вычисления собственных значений для различных спектральных задач по линейным формулам и по методу Галеркина в случаях, когда их номер небольшой. Результаты проведенных вычислений показали, что в рамках допустимых погрешностей собственные значения совпадают.

Применение классических методов для вычисления собственных значений с большими номерами становится вычислительно затруднительным и для их нахождения используют, если они известны,

асимптотические формулы. Естественно, возникает вопрос, как ведут себя линейные формулы (3) в случае больших номеров собственных значений и можно ли их использовать в этом случае.

Спектр дискретного оператора состоит из изолированных точек и не имеет предельных точек, кроме бесконечности. Каждое собственное значение дискретного оператора имеет конечную кратность. Допустим, что  $L$ -дискретный полуограниченный снизу оператор, заданный в сепарабельном гильбертовом пространстве  $H$ . Его собственные значения  $\mu$  определяются при нахождении нетривиальных решений уравнения

$$L\mu = \mu\mu, \quad (1)$$

и в случае дифференциального оператора удовлетворяющие заданным однородным краевым условиям. Занумеруем собственные значения оператора  $L$  в порядке возрастания их величин с учетом кратности  $\{\mu_n\}_{n=1}^{\infty}$ . Для нахождения собственных значений оператора  $L$  воспользуемся методом Галеркина. Введем последовательность  $\{H_n\}_{n=1}^{\infty}$  ко-

нечномерных пространств  $H_n \subseteq H$  полную в  $H$ . Пусть ортонормированные базисы пространств  $H_n$  известны и состоят из функций  $\{\varphi_k\}_{k=1}^\infty$ . Все функции  $\varphi_k$  должны удовлетворять краевым условиям спектральной задачи (1). Будем искать приближенное решение спектральной задачи (1) в виде

$$u_n = \sum_{k=1}^n a_k(n) \varphi_k. \quad (2)$$

В статье [15] были доказаны следующие теоремы.

**Теорема 1.** Пусть  $L$ -дискретный полуограниченный снизу оператор, действующий в сепарабельном гильбертовом пространстве  $H$ . Если система координатных функций  $\{\varphi_k\}_{k=1}^\infty$  является базисом  $H$  и в случае дифференциального оператора удовлетворяет граничным условиям спектральной задачи (1), то метод Галеркина, построенный на этой системе функций, сходится.

**Теорема 2.** Пусть  $L$ -дискретный полуограниченный снизу оператор, действующий в сепарабельном гильбертовом пространстве  $H$ . Если система координатных функций  $\{\varphi_k\}_{k=1}^\infty$  является ортонормированным базисом  $H$  и в случае дифференциального оператора удовлетворяет граничным условиям спектральной задачи (1), то  $\mu_n(n) - n$ -е приближения по Галеркину, к соответствующим собственным значениям  $\mu_k$  оператора  $L$ , находятся по формулам

$$\mu_n(n) = (L\varphi_n, \varphi_n) + \delta_n, \quad (3)$$

где  $\delta_n = \sum_{k=1}^{n-1} [\mu_k(n-1) - \mu_k(n)]$ .

Формулы (3) позволяют, как показано в [10], с высокой вычислительной эффективностью вычислять приближенные собственные значения дискретных полуограниченных операторов. В отличие от классических методов, они резко уменьшают объем вычислений для нахождения  $\mu_n$ . Решают проблему нахождения собственных значений любых матриц высокого порядка. Решают проблему вычисления всех необходимых точек спектра дискретных полуограниченных операторов.

Собственные значения  $\mu_n$ , где  $n \leq 100$ , краевых задач, порожденных дискретными полуограниченными снизу операторами, вычисленные по формулам (3) и методом Галеркина хорошо согласуются. Это подтверждается многочисленными вычислениями.

В данной статье проведено сравнение вычислений собственных значений дискретных полуо-

граниченных операторов, вычисленных по формулам (3), с вычислениями по известным асимптотическим формулам для следующих спектральных задач.

**Асимптотические формулы для собственных значений двух спектральных задач**

Рассмотрим прямую спектральную задачу

$$-y''(x) + q(x)y(x) = \mu y(x), \quad \mu = \lambda^2 \text{ или } \mu = S^2, 0 < x < \pi \quad (4)$$

с граничными условиями

$$y(0) = 0, \quad y(\pi) = 0, \quad (5)$$

или

$$y(0) = 0, \quad y'(\pi) - hy(\pi) = 0. \quad (6)$$

На потенциал  $q(x)$  наложено условие

$$\int_0^\pi x|q(x)|dx < \infty.$$

В диссертации З. М. Гасымова [16] получены асимптотические формулы для собственных значений  $\mu_n$  спектральных задач (4), (5) и (4), (6)

$$\mu_n = \lambda_n^2, \quad \lambda_n = n + \frac{1}{\pi n} \int_0^\pi q(t) \sin^2(nt) dt + O(r_n^2), \quad (7)$$

$$\mu_n = S_n^2,$$

$$S_n = n + 0,5 - \frac{h}{\pi(n-0,5)} + \dots \quad (8)$$

$$+ \frac{1}{\pi(n-0,5)} \int_0^\pi q(t) \sin^2[(n-0,5)t] dt + O(\tilde{r}_n^2)$$

соответственно. Здесь

$$\tilde{r}_n = \frac{1}{n} + r_n, \quad r_n = \int_0^{2/n} t|q(t)|dt + \frac{1}{n} \int_{1/2n}^\pi |q(t)|dt.$$

Для нахождения приближенных собственных значений спектральных задач (4), (5) и (4), (6) по формулам (3) построим системы координатных функций, каждая функция которых является собственной функцией спектральных задач (4), (5) и (4), (6) при  $q \equiv 0$  соответственно:

$$-\varphi''(x) = \beta\varphi(x), \quad 0 < x < \pi, \quad (9)$$

$$\varphi(0) = 0, \quad \varphi(\pi) = 0, \quad (10)$$

$$\varphi(0) = 0, \quad \varphi'(\pi) - h\varphi(\pi) = 0. \quad (11)$$

Нетрудно показать, что спектральная задача (9), (10) имеет множество собственных значений  $\{n^2\}_{n=1}^\infty$ , которым соответствует ортогональная си-

система собственных функций  $\{C_n \sin(nx)\}_{n=1}^{\infty}$ . Постоянные  $C_n$  находятся из условия нормировки. Множество собственных значений  $\{\gamma_n\}_{n=1}^{\infty}$  спектральной задачи (9), (10) не имеет конечных предельных точек.

Все собственные значения спектральной задачи (9), (11) вещественные, неотрицательные и простые. Они являются корнями трансцендентного уравнения

$$\sqrt{\gamma} \cos(\pi\sqrt{\gamma}) - h \sin(\pi\sqrt{\gamma}) = 0, \quad (12)$$

а соответствующая им система собственных функций ортогональна и имеет вид  $\{C_n \sin(\sqrt{\gamma_n} x)\}_{n=1}^{\infty}$ . Постоянные  $C_n$  находятся из условий нормировки.

### Вычислительные эксперименты

Если необходимо найти собственное значение  $\gamma_n$  с достаточно большим номером, то воспользоваться трансцендентным уравнением (12) сложно, так как необходимо последовательно находить все значения  $\gamma_n$  с меньшими номерами. Это приводит к большому объему вычислений. В таких случаях можно воспользоваться асимптотическими формулами, которые легко получить из формул (8), полагая в них  $q(t) \equiv 0$ :

$$\gamma_n = S_n^2, \quad S_n = n - 0,5 - \frac{h}{\pi(n-0,5)} + O(\tilde{r}_n^2), \quad \tilde{r}_n = \frac{1}{n}. \quad (13)$$

Обозначим через  $\mu$  приближенные собственные значения спектральных задач (4), (5) и (4), (6), найденные методом Галеркина, через  $\mu_n$  – найденные по формулам (3), через  $\bar{\mu}$  – по асимптотическим формулам (7) или (8). Во всех рассмотренных примерах считалось, что  $\delta_n = 0$ .

В табл. 1 и 2 приведены собственные значения спектральной задачи (4), (5), вычисленные по формулам (3) и асимптотическим формулам (7) с потенциалом  $q(x) = x^3 - 4x^2 + 5 - \cos(3x) + e^x$ .

В табл. 2 приведены результаты вычислений для больших номеров собственных значений спектральной задачи (4), (5). В этом случае вычисление собственных значений методом Галеркина вызывает вычислительные трудности из-за больших размерностей матриц, с которыми приходится работать. В связи с этим сравнение проведено только между приближенными собственными значениями, найденными по формулам (3) и по асимптотическим формулам (8).

Численные расчеты показали, что результаты вычислений собственных значений рассмотренной спектральной задачи (4), (5) тремя способами, хорошо согласуются между собой.

В табл. 3 и 4 приведены приближенные собственные значения спектральной задачи (4), (6) вычисленные по формулам (3) и асимптотическим формулам (8) при  $h = 0,5$  и  $q(x) = x^5 - 4x^3 + 10 - \sin(5x) + e^{-x}$ .

Результаты вычислений собственных значений спектральной задачи (4), (6), приведенные в табл. 3 и 4.

Таблица 1

$n$	$\mu_n$	$\mu_n$	$\bar{\mu}_n$	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $
31	998,575	998,571	998,584	$8,431 \cdot 10^{-3}$	$8,431 \cdot 10^{-2}$
32	1062,575	1062,571	1062,583	$7,922 \cdot 10^{-3}$	$7,922 \cdot 10^{-2}$
33	1128,575	1128,571	1128,582	$7,458 \cdot 10^{-3}$	$7,458 \cdot 10^{-2}$
34	1196,575	1196,571	1196,582	$7,302 \cdot 10^{-3}$	$7,302 \cdot 10^{-2}$
35	1266,574	1266,571	1266,581	$6,645 \cdot 10^{-3}$	$6,645 \cdot 10^{-3}$
36	1338,574	1338,571	1338,581	$6,287 \cdot 10^{-3}$	$6,287 \cdot 10^{-3}$
37	1412,574	1412,571	1412,580	$5,957 \cdot 10^{-3}$	$5,957 \cdot 10^{-3}$
38	1488,574	1488,571	1488,580	$5,653 \cdot 10^{-3}$	$5,653 \cdot 10^{-3}$
39	1566,574	1566,571	1566,579	$5,371 \cdot 10^{-3}$	$5,371 \cdot 10^{-3}$
40	1646,574	1646,571	1646,579	$5,110 \cdot 10^{-3}$	$5,110 \cdot 10^{-3}$
...	...	...	...	...	...
51	2658,573	2658,573	2658,573	$3,163 \cdot 10^{-3}$	$4,609 \cdot 10^{-3}$
52	2762,573	2762,573	2762,573	$3,043 \cdot 10^{-3}$	$4,435 \cdot 10^{-3}$
53	2868,573	2868,573	2868,573	$2,930 \cdot 10^{-3}$	$4,271 \cdot 10^{-3}$
54	2976,573	2976,573	2976,573	$2,824 \cdot 10^{-3}$	$4,115 \cdot 10^{-3}$
55	3086,573	3086,573	3086,573	$2,723 \cdot 10^{-3}$	$3,968 \cdot 10^{-3}$
56	3198,573	3198,573	3198,573	$2,627 \cdot 10^{-3}$	$3,829 \cdot 10^{-3}$
57	3312,573	3312,573	3312,573	$2,535 \cdot 10^{-3}$	$3,697 \cdot 10^{-3}$
58	3428,573	3428,573	3428,573	$2,448 \cdot 10^{-3}$	$3,572 \cdot 10^{-3}$
59	3546,573	3546,573	3546,573	$2,365 \cdot 10^{-3}$	$3,453 \cdot 10^{-3}$
60	3666,573	3666,573	3666,573	$2,268 \cdot 10^{-3}$	$3,339 \cdot 10^{-3}$

Таблица 2

$n$	$\mu_n$	$\bar{\mu}_n$	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $
1000	999006,571	999006,571	$1,221 \cdot 10^{-5}$
1001	1001006,571	1001006,571	$1,219 \cdot 10^{-5}$
1002	1003008,571	1003008,571	$1,216 \cdot 10^{-5}$
1003	1005012,571	1005012,571	$1,214 \cdot 10^{-5}$
1004	1009026,571	1009026,571	$1,211 \cdot 10^{-5}$
...	...	...	...
100000	9999900006,571	9999900006,571	$1,220 \cdot 10^{-9}$
100001	10000100006,571	10000100006,571	$1,220 \cdot 10^{-9}$
100002	10000200008,571	10000200008,571	$1,220 \cdot 10^{-9}$
100003	10000700018,571	10000700018,571	$1,220 \cdot 10^{-9}$
100004	10000900026,571	10000900026,571	$1,220 \cdot 10^{-9}$
...	...	...	...
1000000	99999000006,571	99999000006,571	$1,220 \cdot 10^{-11}$
1000001	100000100006,571	100000100006,571	$1,220 \cdot 10^{-11}$
1000002	1000003000008,571	1000003000008,571	$1,220 \cdot 10^{-11}$
1000003	1000005000012,571	1000005000012,571	$1,220 \cdot 10^{-11}$
1000004	1000007000018,571	1000007000018,571	$1,220 \cdot 10^{-11}$

Таблица 3

$n$	$\mu_n$	$\mu_n$	$\bar{\mu}_n$	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $
50	2580,293	2580,107	2580,205	$8,817 \cdot 10^{-2}$	$9,755 \cdot 10^{-2}$
51	2682,286	2682,107	2682,201	$8,465 \cdot 10^{-2}$	$9,379 \cdot 10^{-2}$
52	2786,279	2786,107	2786,197	$8,134 \cdot 10^{-2}$	$9,025 \cdot 10^{-2}$
53	2892,272	2892,107	2892,194	$7,824 \cdot 10^{-2}$	$8,691 \cdot 10^{-2}$
54	3000,266	3000,108	3000,191	$7,532 \cdot 10^{-2}$	$8,375 \cdot 10^{-2}$
...	...	...	...	...	...
65	4320,223	4320,107	4320,165	$5,822 \cdot 10^{-2}$	$5,797 \cdot 10^{-2}$
66	4520,226	4452,107	4452,163	$6,541 \cdot 10^{-2}$	$5,624 \cdot 10^{-2}$
67	4586,236	4586,107	4586,161	$7,425 \cdot 10^{-2}$	$5,458 \cdot 10^{-2}$
68	4722,260	4722,107	4722,160	$1,008 \cdot 10^{-2}$	$5,300 \cdot 10^{-2}$
69	4860,413	4860,107	4860,158	$2,550 \cdot 10^{-2}$	$5,145 \cdot 10^{-2}$

Таблица 4

$n$	$\mu_n$	$\bar{\mu}_n$	$ \mu_n - \bar{\mu}_n $
1000	999030,106	999030,106	$2,488 \cdot 10^{-4}$
1001	1001030,106	1001030,106	$2,483 \cdot 10^{-4}$
1002	1003032,106	1003032,106	$2,478 \cdot 10^{-4}$
1003	1005036,106	1005036,106	$2,473 \cdot 10^{-4}$
1004	1009050,106	1009050,106	$2,464 \cdot 10^{-4}$
...	...	...	...
100000	9999900030,106	9999900030,106	$2,486 \cdot 10^{-8}$
100001	10000100030,106	10000100030,106	$2,486 \cdot 10^{-8}$
100002	10000200032,106	10000200032,106	$2,486 \cdot 10^{-8}$
100003	10000700036,106	10000700036,106	$2,486 \cdot 10^{-8}$
100004	10000900042,106	10000900042,106	$2,486 \cdot 10^{-8}$
...	...	...	...
1000000	99999000030,106	99999000030,106	$2,486 \cdot 10^{-10}$
1000001	100000100030,106	100000100030,106	$2,486 \cdot 10^{-10}$
1000002	1000003000032,106	1000003000032,106	$2,486 \cdot 10^{-10}$
1000003	1000005000036,106	1000005000036,106	$2,486 \cdot 10^{-10}$
1000004	1000007000042,571	1000007000042,571	$2,486 \cdot 10^{-10}$

**Заключение**

Сравнение результатов вычислений для спектральных задач (4), (5) и (4), (6), проведенных по формулам (3) и асимптотическим формулам (7) и

(8), показывают, что приближенные собственные значения с достаточно большими номерами в рамках допустимых погрешностей совпадают. Следовательно, для рассматриваемых спектральных задач собственные значения с достаточно

большими номерами можно вычислять по линейным формулам (3).

### Список литературы

1. Вычисление первых собственных чисел краевой задачи гидродинамической устойчивости между параллельными плоскостями при малых числах Рейнольдса / В.А. Садовничий, В.В. Дубровский, С.И. Кадченко, В.Ф. Кравченко // Доклады Академии наук. – 1997. – Т. 355. – № 5. – С. 600.
2. Кадченко С.И. Метод регуляризованных следов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2009. – № 37(170). – С. 4-23.
3. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Численные методы нахождения собственных чисел и собственных функций возмущенных самосопряженных операторов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2012. – № 27(286). – С. 45-57.
4. Кадченко С.И., Кинзина И.И. Вычисление собственных значений возмущенных дискретных полуограниченных операторов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2006. – Т. 46. – № 7. – С. 1265 – 1273.
5. Кадченко С.И., Рязанова Л.С. Численный метод нахождения собственных значений дискретных полуограниченных снизу операторов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2011. – № 17(234). – С. 43-51.
6. Кадченко С.И. Вычисление рядов Релея-Шредингера возмущенных самосопряженных операторов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2007. – Т. 47. – № 9. – С. 1494 – 1505.
7. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Алгоритм нахождения собственных функций возмущенных самосопряженных операторов методом регуляризованных следов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2012. – № 40(299). – С. 83-88.
8. Кадченко С.И. Метод регуляризованных следов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2009. – № 37(170). – С. 4-23.
9. Кадченко С.И. Численный метод решения обратных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами, методом регуляризованных следов // Вестник Самарского государственного университета. Естественнонаучная серия. – 2013. – № 6(107). – С. 23-30.
10. Dubrovskii V.V., Kadchenko S.I., Kravchenko V.F., Sadovnichii V.A. Computation of the first eigenvalues of a discrete operator // Электромагнитные волны и электронные системы. – 1998. – Т. 3. – №2. – С. 4-7.
11. Кадченко С.И. Численный метод решения обратных спектральных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. – 2013. – Т. 6. – № 4. – С. 15-25.
12. Кадченко С.И., Какушкин С.Н. Вычисление значений собственных функций дискретных полуограниченных операторов методом регуляризованных следов // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. – 2012. – № 6(97). – С. 13-21.
13. Кадченко С.И. Алгоритм решения обратных задач, порожденных возмущенными самосопряженными операторами // Актуальные проблемы современной науки и техники и образования. – 2015. – Т. 3. – С. 138-141.
14. Обратная спектральная задача определения неоднородности упругого стержня / С.И. Кадченко, Г.А. Закирова, Л.С. Рязанова, О.А. Торшина // Актуальные проблемы современной науки и техники и образования. – 2018. – Т. 9. – № 2. – С. 42-45.
15. Kadchenko S.I., Zakirova G.A. A numerical method for inverse spectral problems // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Математическое моделирование и программирование». – 2015. – Т. 3. – С. 116 – 126.
16. Гасымов З.М. Решение обратной задачи по двум спектрам для сингулярного уравнения Штурма-Лиувилля: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 01.01.01. – Баку, 1992. – 121 с.

### Сведения об авторах

**Кадченко Сергей Иванович** – д-р физ.-мат. наук, проф., зав. каф. прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: sikadchenko@mail.ru.

**Закирова Галия Амрулловна** – канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. уравнений математической физики, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», г. Челябинск. E-mail: zakirova81@mail.ru

**Рязанова Любовь Сергеевна** – канд. пед. наук, доц. каф. прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ryazanova2006@rambler.ru.

**Торшина Ольга Анатольевна** – канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: olganica@mail.ru

УДК 621.793: 539.538

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ И СИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ СКРЕЧ-ТЕСТА

Белов В.К.

НИЦ «Микротопография МГТУ», г. Магнитогорск

**Аннотация.** Рассмотрена простая модель силовых характеристик скреч-теста, позволяющая получить полезную информацию о адгезионных характеристиках различных покрытий.

**Ключевые слова:** скреч-тест, адгезионные характеристики покрытий.

В работе [1] дан краткий обзор различных моделей скреч-теста, которые часто содержат параметры, имеющие ясный физический смысл, но оценка экспериментальных значений этих параметров либо затруднена, либо невозможна. В данной работе предложена достаточно грубая модель скреч-теста, содержащая только наблюдаемые значения. Это следует отнести как к достоинствам, так и недостаткам предлагаемой модели.

### 1. Грубая оценка силовых параметров очага деформации при скреч-тесте

Площади нагрузки вертикальной и горизонтальной сил определяются из геометрических соотношений (рис. 1), где параметрами очага деформации являются полуширина трека индентора  $a$ , глубина трека  $h$ .

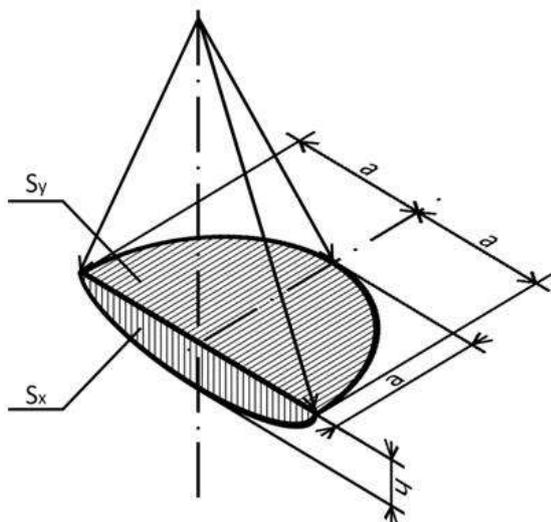


Рис. 1 Геометрические параметры очага деформации покрытия скреч-индентором

Для шарового индентора радиусом  $R$  параметры  $a$  и  $h$  связаны простым соотношением

$$a = \sqrt{2t \cdot R - h^2} = R\sqrt{2\eta - \eta^2}, \quad (1)$$

где  $\eta = \frac{h}{R}$ .

Площадь нагрузки вертикальной силы  $F_y$  определится как

$$S_y = \frac{1}{2} \pi \cdot a^2 = R^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \pi \eta \cdot (2 - \eta) \right]. \quad (2)$$

Площадь нагрузки горизонтальной силы  $F_x$  определится как

$$S_x = R^2 \cdot \left[ \frac{1}{2} \cdot \theta - (1 - \eta) \cdot \sqrt{2\eta - \eta^2} \right], \quad (3)$$

где  $\theta = 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a}{R}\right) = 2 \cdot \arccos(1 - \eta)$ ,  $\theta$  – в радианах.

Площадь контакта индентора с покрытием определится как

$$S_s = 2\pi R \cdot \left[ R - \sqrt{R^2 - a^2} \right] = R^2 2\pi\eta. \quad (4)$$

Чаще всего реализуется ситуация  $h \ll R$ , для которой вышеприведённые формулы имеют вид:

$$S_z \approx R^2 \pi \eta; \quad (2a)$$

$$S_x \approx R^2 \sqrt{8 \cdot \eta^3}; \quad (3a)$$

$$\frac{S_x}{S_y} \approx 0.900 \sqrt{\eta}. \quad (5)$$

Считая механические характеристики постоянными по сечению покрытия, можно оценить величину вертикальной и горизонтальной нагрузки как

$$F_z = C_z \cdot S_z \cdot \sigma_t; \quad (6)$$

$$F_x = C_x \cdot S_x \cdot \sigma_t, \quad (7)$$

$C_z$  и  $C_x$  – коэффициенты, учитывающие изменение формы площади контакта индентора после снятия нагрузки (учёт упругой деформации, учёт наличия валика перед индентором, учёт вида разрушения и т.д.).

При  $\eta \ll 1$

$$F_z \approx C_z \cdot R^2 \pi \eta \cdot \sigma_t; \quad (8)$$

$$F_x \approx C_x \cdot R^2 \sqrt{8 \cdot \eta^3} \cdot \sigma_t; \quad (9)$$

$$m_1 = \frac{C_x}{C_z} 0.900 \sqrt{\eta}. \quad (10)$$

Формулы (8), (9) тождественны ранее полученным формулам для оценки выглаживания шариком металлических поверхностей при отделочно-упрочняющей обработке [2, 3].

## 2. Соотношение силовых характеристик очага деформации под индентором в скреч-тесте

На самом деле на индентор действуют силы разной природы [4]: сила трения  $F_\tau$ , действующая по касательной к поверхности индентора; сила нормального давления  $P$ , действующая по нормали к поверхности индентора (рис. 2).

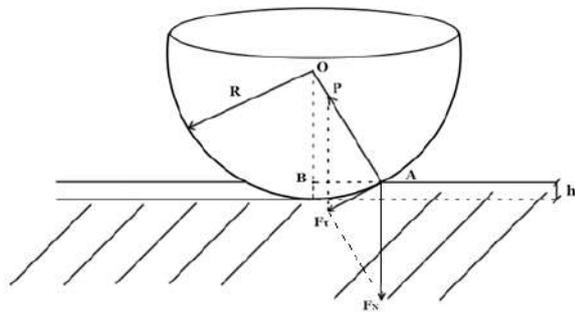


Рис. 2. Схема действия сил на индентор скреч-теста

Простые геометрические соображения позволяют определить силы  $P$  и  $F_\tau$  через вертикальную силу  $F_n$ , действующую на индентор при скреч-тесте (см. рис. 2):

$$P = F_n \cdot (1 - \eta), \quad (11)$$

$$F_\tau = F_n \cdot \sqrt{2\eta - \eta^2}, \quad (12)$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{2\eta - \eta^2}}{(1 - \eta)}. \quad (13)$$

При малых значениях  $\eta$  формулы (10) и (13) дают одинаковую функциональную зависимость

$m$  от  $\sqrt{\eta}$ . Заметим, что при обычных режимах скреч теста реализуется ситуация с малыми значениями  $\eta$ .

Формулы (10) и (13) также указывает на то, что вертикальные усилия при скреч-тесте превышают горизонтальные на один-два порядка.

## 3. Зависимость силовых параметров скреч теста от толщины покрытия.

### 3.1. Мягкое покрытие на жесткой подложке

Здесь чаще всего реализуется механизм разрушения, сопровождающийся пластической деформацией покрытия при растягивающих напряжениях. При критических значениях нагрузки происходит конформное растрескивание и разрушение покрытия. Эта ситуация реализуется для таких покрытий как полимерные покрытия на металле, окрашенные металлические поверхности и т.п.

$$\sigma_1 = \frac{P}{S_s} = \frac{F_n \cdot (1 - \eta)}{R^2 \cdot 2\pi \cdot \eta} \sim \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \sim \frac{1}{\eta} \sim \frac{1}{h}. \quad (13)$$

Данное выражение можно переписать через напряжение сдвига, используя соотношение

$$\tau \approx \sigma_1 \cdot \sqrt{2\eta}. \quad (14)$$

### 3.2. Жесткое покрытие на мягкой подложке

Здесь возможны два механизма разрушения: хрупкое разрушение без вспучивания и разрушение за счёт вспучивания слоя покрытия.

#### 3.2.1. Жесткое покрытие на мягкой подложке (выкрашивание (spall))

При хрупком разрушении без вспучивания (растрескивание) срыв пластины с поверхности осуществляется при усилении

$$\sigma_2 = \frac{F_x}{S_x} = \frac{F_n \cdot \sqrt{2\eta - \eta^2}}{S_x} = \frac{F_n}{R^2 \sqrt{8}} \sqrt{\frac{2}{\eta} - 1} \sim \frac{1}{\sqrt{\eta}} \sim \frac{1}{\sqrt{h}}. \quad (15)$$

Аналогичные зависимости были получены Burnett and Rickerby [5], а затем Bull и др. [6]. Они выразили силу  $P$  через модуль Юнга  $E$  и, считая, что тангенциальные сжимающие напряжения в покрытии перед индентором вызывают критические растягивающие напряжения, получили формулу для критических напряжений разрушения (выкрашивания) твёрдого покрытия на мягкой подложке :

$$\sigma_{cr} = \sqrt{\frac{E \cdot W_{tr}}{(1 - \gamma) \cdot h}} \sim \frac{1}{\sqrt{h}}, \quad (16)$$

где  $t$  – толщина пластины;

$W_{123}$  – энергия разрушения объекта, состоящего из покрытия, подложки и третьего тела;  
 $E$  – модуль Юнга материала покрытия;  
 $\gamma$  – коэффициент Пуассона материала покрытия.

Зависимость  $\sigma$  от толщины покрытия одинакова в формулах (15) и (16).

Эта ситуация очень похожа на разрыв плёнки толщиной  $h$  силами трения.

### 3.2.2. Жёсткое покрытие на мягкой подложке (вспучивание (buckle))

При пластическом разрушении со вспучиванием (срыв покрытия) задача во многом аналогична изгибу пластины с зажатými концами [7]

$$\sigma_3 = K \frac{\pi^2 \cdot D}{b^2 \cdot h}, \quad (17)$$

где  $D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \gamma^2)}$  – цилиндрическая жёсткость

пластинки;

$b$  – ширина пластинки;

$K$  – коэффициент, зависящий от условий закрепления краёв пластинки.

При закреплённых боковых концах пластинки  $K \approx 7 \div 9$ , при незакреплённых боковых концах  $K \approx 4 \div 5$ .

Принимая  $b=2a$  и предполагая, что кривизна вспучивания близка к радиусу индентора, с помощью соотношения (1) получим формулу критической нагрузки срыва покрытия со вспучиванием.

$$\sigma_3 = K \frac{\pi^2 \cdot E}{48(1 - \gamma^2)} \frac{h^3}{a^2} \approx K \frac{\pi^2 \cdot E \cdot R}{96(1 - \gamma^2)} \eta^2 \sim h^2. \quad (18)$$

На рис. 3 приведены зависимости от  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  от толщины твёрдого TiN ионнонапылённого покрытия и мягкого алюминиевого покрытия на нержавеющей стали [8]. Эти результаты очень хорошо соответствуют теоретическим зависимостям (15), (16) и (18).

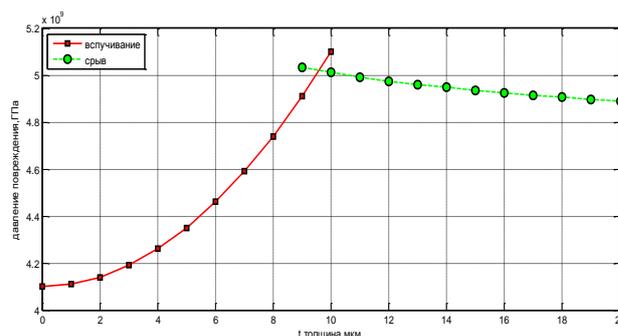


Рис. 3. Изменение силовых характеристик скреч-теста и твёрдого TiN ионнонапылённого покрытия и мягкого алюминиевого покрытия на нержавеющей стали при различных толщинах покрытия [8]

### Вывод

Рассмотрена простая модель силовых характеристик скреч-теста. Она может дать полезную информацию о адгезионных характеристиках различных покрытий при различных сочетаниях прочностных свойств покрытия и подложки.

### Список литературы

1. Suresh Kuiry, PhD Advanced scratch testing for evaluation of coatings , Bruker Nano Surfaces Division, www.bruker-axs/com, 2012.
2. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхности пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. – 152 с.
3. Горбило В.М. Алмазное выглаживание: монография. – М.: Машиностроение, 1972. – 105 с.
4. B.Ollinier, A.Matthews Adhesion of diamond-like carbon films on polymers: an assessment of the validity of the scratch test technique applied to flexible substrates, J.Adhesion Sci.Technol. Vol.8, No.6.pp.651-662 , 1994
5. Bull S.J., Rickerby D.S., Matthews A., Leyland A., Pace A.R., Valli J. Surf.Coat.Technol.36 (1988) 503
6. Burnett P.J., Rickerby D.S. Thin Solid Films 154(1987) 403; 157(1988) 233
7. Вольмир А. С. Устойчивость деформируемых систем: в 2 ч.: учеб. пособие. Ч. 1. – 3-е изд. – М., 2018. – 527 с.
8. Bull S.J. Failure mode maps in the thin film scratch adhesion test, Tribology International, 1997, vol. 30, no. 7, pp.491-498.

### Сведения об авторе

**Белов Валерий Константинович** – канд. физ.-мат. наук, проф. каф. физики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: belovalkon@mail.ru

УДК 530.145

## ОДНОФОТОННАЯ ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТА В ТЕРМИНАХ ВОЛНОВОЙ ФУНКЦИИ ФОТОНА В КООРДИНАТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Давыдов А.П., Злыднева Т.П.

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

**Аннотация.** Излагаются основные положения о волновой функции фотона в координатном представлении с целью ее применения для описания интерференционных явлений в экспериментах с одиночными фотонами. Рассматривается связь квантовой плотности вероятности обнаружения фотона при его свободном распространении в результате излучения лазера фемтосекундного диапазона с классической плотностью вероятности. На основе моделирования волновой функции фотона в координатном представлении объясняется опыт Юнга, что позволяет существенно снизить противоречивость корпускулярно-волнового дуализма света. Подчеркивается, что понятие электромагнитного поля для единичного фотона неприменимо, и поэтому попытка использовать амплитуды перехода, апеллируя к соотношениям, формально вытекающим из соотношений для напряженностей поля, рассматриваемого классически, может привести к неадекватному описанию физических явлений. Констатируется, что вопрос о физической природе самой волновой функции остается открытым.

**Ключевые слова:** квантовая механика фотона; волновой пакет; плотность вероятности; однофотонная интерференция.

### Введение

На протяжении примерно последнего десятилетия в квантовой физике получают развитие новые тенденции, такие как создание квантовых компьютеров, осуществление квантовой криптографии, квантовой телепортации, формулирование и уточнение понятий классического и квантового реализма, нелокальности взаимодействий и т.п. Осмысление сопутствующих квантовых явлений в научном мире приводит к понятиям, выходящим за рамки ортодоксальной квантовой механики. Среди них существенную роль играют однофотонные и «запутанные» двухфотонные состояния. По-прежнему, значительный интерес представляют собой «одночастичные» интерференционные типа Юнга, в которых фотон (или частица, имеющая массу) интерферирует «сам с собой». В таких опытах свет уже нельзя рассматривать в виде классической электромагнитной волны, и результаты проводимых экспериментов (успешно) объясняются в терминах квантовых амплитуд перехода, причем как с частицами, так и с фотонами. При этом и для частиц, и для фотонов проблема корпускулярно-волнового дуализма *остается не устраненной*, а для фотонов – лишь «еще раз» разъясняемой с некоторой «более глубокой точки зрения», по сути сводящейся только к формальной замене использования понятия классической электромагнитной волны абстрактным понятием амплитуды перехо-

да из одного квантового состояния в другое. Однако если по отношению к частицам, имеющим массу, этот «дуализм» можно формально принять, оставаясь в рамках копенгагенской трактовки квантовой механики, то представление на метафизическом уровне о фотоне как о «корпускуле» весьма трудноосуществимо – в силу невозможности локализовать фотон в пространстве. Между тем использование квантовых амплитуд в отношении фотона как раз и способствует «формированию» представления о нем как о корпускуле, якобы реализующейся в некоторых квантовых состояниях в опытах с одиночными фотонами.

Чтобы устранить этот недостаток, на наш взгляд, для объяснения однофотонной интерференции следует использовать *волновую функцию фотона в координатном представлении*. В частности, это было сделано в ряде работ [1–5]. *Цель данной статьи – уточнить и скорректировать детали объяснения опыта Юнга с помощью волновой функции фотона в координатном представлении, приведенного в [1–4], и подробнее обосновать сделанное в [6] предсказание результата интерференции в «однофотонной стоячей волне», принципиально скорректированное в [6] по отношению к утверждению, высказанному в [7].*

### Волновая функция фотона в координатном представлении

Первые работы, в которых вводилась волновая функция фотона, появились, по-видимому, в середине девяностых годов прошлого века (см. [8, 9] и

приведенные ссылки в [1, 2]). Последующее обоснование этой функции, с учетом, в частности, нормировки на единичную вероятность, осуществлялось в [10–14] и др. (см. также ссылки в [1, 2]). Ниже основные положения, касающиеся построения волновой функции фотона в координатном представлении, кратко излагаются в соответствии с [11, 13].

В [11, 13] найдены собственные векторы (циркулярно-поляризованные плоские волны) операторов импульса, энергии и спиральности фотона:

$$\begin{aligned} \xi_{\mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) &= \frac{(\text{Oe}) e_{\pm 1}(\mathbf{k})}{(2\pi)^{3/2}} e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} \mp k ct)}, \\ \eta_{\mathbf{k}, \mp 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) &= \frac{(\text{Oe}) e_{\mp 1}(\mathbf{k})}{(2\pi)^{3/2}} e^{i(\mathbf{k}\mathbf{r} \mp k ct)}. \end{aligned} \quad (1)$$

Эти векторы также являются решениями уравнений Максвелла в форме Майорана [15] (два из которых аналогичны уравнению Шредингера), и применяются для построения волновой функции фотона – волнового пакета с некоторыми задаваемыми коэффициентами  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ :

$$\begin{aligned} \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) &= \int \frac{b(\mathbf{k}, \pm 1)}{(\text{Oe})} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \xi_{\mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k} + \\ &+ \int \frac{[b(-\mathbf{k}, \mp 1)]^*}{(\text{Oe})} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \eta_{\mathbf{k}, \pm 1}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) d^3\mathbf{k}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $(\text{Oe})$  – единица измерения (эрстед) величин  $\xi, \eta$ ; знаки « $\pm$ » в верхних индексах соответствуют фотону с положительной и (гипотетической) отрицательной энергией, а « $\pm$ » или « $\mp$ » в нижних индексах и в  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$  – спиральности  $\lambda$  фотона, согласно верхним знакам.

В (1) векторы поляризации  $\mathbf{e}_\lambda(\mathbf{k}) = [\mathbf{e}_I(\mathbf{k}) + i\lambda \mathbf{e}_{II}(\mathbf{k})] / \sqrt{2}$ , где  $\mathbf{e}_I, \mathbf{e}_{II}$  – вещественные единичные взаимно ортогональные векторы, образующие правую тройку с вектором  $\mathbf{n} = \mathbf{k}/k$ :

$$\begin{aligned} |\mathbf{e}_I| = |\mathbf{e}_{II}| = 1; \quad (\mathbf{e}_I \mathbf{n}) = (\mathbf{e}_{II} \mathbf{n}) = (\mathbf{e}_I \mathbf{e}_{II}) = 0; \\ \mathbf{e}_{II} = [\mathbf{n} \times \mathbf{e}_I]; \quad \mathbf{n} = i\lambda [\mathbf{e}_I \times \mathbf{e}_I^*], \end{aligned} \quad (3)$$

причем вектор  $\mathbf{e}_I$  не меняется при изменении направления вектора  $\mathbf{n}$ ;

$$\begin{aligned} (\mathbf{e}_\lambda^* \mathbf{e}_\lambda) = \delta_{\lambda\lambda}; \quad \mathbf{e}_\lambda^+ \mathbf{e}_\lambda = \delta_{\lambda\lambda}; \\ \mathbf{e}_\lambda(\mathbf{n}) = \mathbf{e}_{-\lambda}(-\mathbf{n}); \quad [\mathbf{e}_\lambda(\mathbf{k})]^* = \mathbf{e}_{-\lambda}(\mathbf{k}) = \mathbf{e}_\lambda(-\mathbf{k}). \end{aligned} \quad (4)$$

Функция (2) является решением полученного в [11, 13] уравнения вида Шредингера, удовлетворяет нормировке на единичную вероятность и

уравнению непрерывности [11, 13, 16] для плотности вероятности  $\rho_p^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)$  обнаружения фотона вблизи точки  $\mathbf{r}$  в момент  $t$ .

Для свободного или дифрагирующего фотона коэффициенты  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$  должны определяться из начального и граничных условий. Однако поведение фотона можно также моделировать, задавая эти коэффициенты из каких-либо физических соображений и сравнивая затем результаты с реальными экспериментами.

### Моделирование фемтосекундного лазерного излучения

В [1, 17-19] моделировался волновой пакет с гауссовским распределением по импульсам фотона, для которого коэффициенты  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$  были выбраны в виде

$$\begin{aligned} b(\mathbf{k}, \pm 1) &= [b(-\mathbf{k}, \mp 1)]^* = \\ &= \sqrt{\frac{\alpha_1 \alpha_2 \alpha_3}{2\pi\sqrt{\pi}}} \exp \left[ -\frac{1}{2} (\alpha_1^2 k_x^2 + \alpha_2^2 k_y^2 + \alpha_3^2 (k_z \mp k_0)^2) - i\mathbf{k}\mathbf{r}_0 \right]; \end{aligned} \quad (5)$$

векторы поляризации при  $0 \leq \theta \leq \pi/2$  записывались как (в матричном виде)

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_I(\mathbf{k}) &\equiv \begin{pmatrix} e_{Ix} \\ e_{Iy} \\ e_{Iz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - (1 - \cos \theta) \cos^2 \varphi \\ -(1 - \cos \theta) \sin \varphi \cos \varphi \\ -\sin \theta \cos \varphi \end{pmatrix}; \\ \mathbf{e}_{II}(\mathbf{k}) &\equiv \begin{pmatrix} e_{IIx} \\ e_{IIy} \\ e_{IIz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(1 - \cos \theta) \sin \varphi \cos \varphi \\ \cos \theta + (1 - \cos \theta) \cos^2 \varphi \\ -\sin \theta \sin \varphi \end{pmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $\theta$  и  $\varphi$  определяют вектор  $\mathbf{k}$  в сферической системе координат, а при  $\pi/2 < \theta \leq \pi$  как

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_I(\mathbf{k}) &\equiv \begin{pmatrix} e_{Ix} \\ e_{Iy} \\ e_{Iz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 - (1 + \cos \theta) \cos^2 \varphi \\ -(1 + \cos \theta) \sin \varphi \cos \varphi \\ \sin \theta \cos \varphi \end{pmatrix}; \\ \mathbf{e}_{II}(\mathbf{k}) &\equiv \begin{pmatrix} e_{IIx} \\ e_{IIy} \\ e_{IIz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (1 + \cos \theta) \sin \varphi \cos \varphi \\ \cos \theta - (1 + \cos \theta) \cos^2 \varphi \\ -\sin \theta \sin \varphi \end{pmatrix}. \end{aligned} \quad (7)$$

В [1, 17-19] констатировалось, что при  $t = 0$  случай  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 \equiv \alpha$  дает практически сферически-симметричную пространственную форму волнового пакета. На оси  $z$ , которая является осью симметрии волнового пакета, плотность вероятности обнаружить фотон в авангарде пакета перемещается почти точно со скоростью света  $c$  в вакууме. Чем дальше от этой оси, тем меньше

скорость перемещения соответствующей плотности вероятности. Таким образом происходит трансформирование первоначальной «шарообразной» формы пакета в некую «конусообразную», «напоминающую» излучение Вавилова-Черенкова. Скорость расплывания пакета (2) тем больше, чем меньше его начальный «радиус», в согласии с общими положениями квантовой механики. Эти выводы находятся в согласии [19] также с экспериментально установленным «уменьшением» «групповой» скорости фотонов по сравнению с фазовой скоростью света в вакууме, что выявляет адекватность модели (5)–(7).

**Классическая и квантовая плотность вероятности обнаружения фотона**

Модель (5)–(7) соответствует состоянию фотона с нулевым средним значением спиральности, отвечающей линейной поляризации в классической электродинамике. Единственной ненулевой электрической компонентой поля оказывается  $E_x$ , извлекаемая из (2), (5)–(7) с помощью метода, разработанного в [11, 13]. Для точек на оси  $z$  аналитически вычисляются как плотность вероятности  $\rho_P(\mathbf{r}, t) = [\Psi(\mathbf{r}, t)]^+ \Psi(\mathbf{r}, t)$ , так и проекция  $E_x$ . При  $t = 0$  волновая функция (2) имеет наименее громоздкий явный вид (полагаем  $b = \pm \alpha^2 k_0 + iz$ ):

$$\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi_{ux}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \\ \Psi_{uy}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Psi_{ux}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \\ -\Psi_{uy}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

где

$$\Psi_{ux}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}}} \left[ 1 + \left( \frac{2b^2}{\alpha^2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{b^2}{2\alpha^2}\right) \right], \quad (9)$$

$$\Psi_{uy}^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \pm \frac{i}{4} \sqrt{\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}}} \left[ \frac{b}{\alpha} \sqrt{\frac{2}{\pi}} + \left( \frac{2b^2}{\alpha^2} - 1 \right) \exp\left(-\frac{b^2}{2\alpha^2}\right) \right]. \quad (10)$$

Проекцию напряженности  $E_x$  приводим для любого момента времени  $t \geq 0$ :

$$E_x = \text{Re} \left\{ \frac{\sqrt{\hbar c} \exp(S)}{4\pi^{3/4} \alpha^{3/2} \zeta^2} \left[ -\frac{q\pi \exp(Q)}{(-q^2)^{1/4}} (2\zeta F_1 + qF_2) - (1-i)\sqrt{p} (2\xi F_3 - pF_4) \exp(P) + 2(1-i)(ct)^{3/2} F_5 \exp(R) \right] \right\}, \quad (11)$$

где

$$b = \pm \alpha^2 k_0 + iz, \quad \zeta = z - i\alpha^2 k_0, \quad p = ct + \zeta, \quad q = ct - \zeta,$$

$$P = -\frac{p^2}{4\alpha^2}, \quad Q = -\frac{q^2}{4\alpha^2}, \quad R = -\frac{c^2 t^2}{4\alpha^2}, \quad S = -\frac{\alpha^2 k_0^2}{2},$$

$$F_1 = (1 + 4Q) [I_{-1/4}(Q) + I_{1/4}(Q)] + 4Q [I_{-3/4}(Q) + I_{3/4}(Q)],$$

$$F_2 = I_{-1/4}(Q) + I_{1/4}(Q) + I_{-3/4}(Q) + I_{3/4}(Q),$$

$$F_3 = (1 + 4P) K_{1/4}(P) - 4P K_{3/4}(P),$$

$$F_4 = K_{3/4}(P) - K_{1/4}(P), \quad F_5 = K_{3/4}(R) - K_{1/4}(R);$$

$I_\nu$  и  $K_\nu$  – функции Бесселя мнимого аргумента.

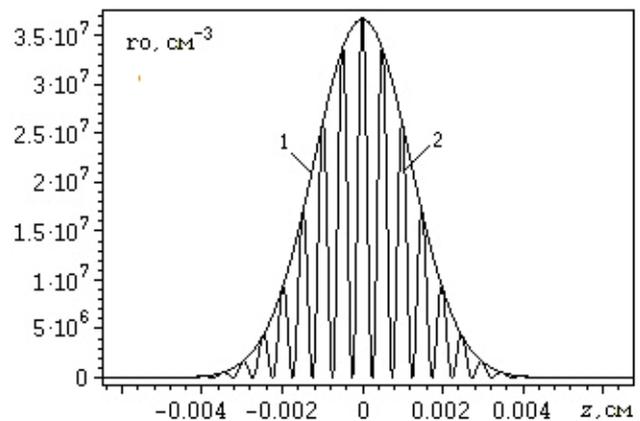
При  $t = 0$  формула (11) имеет существенно более простой вид, приведенный в [20].

На рисунке линией 1 показана плотность вероятности (при  $t = 0$ ) для излучения лазера длительностью  $\tau_{rad} = 80$  фс с центральной длиной волны  $\lambda_0 = 10$  мкм, при которых  $\alpha = 0,00169$  см находится из соотношения  $\Delta E \Delta t \approx \hbar/2$ , где  $\Delta t$  полагается  $\tau_{rad}/2$ , а  $\Delta E$  вычисляется формулами квантовой механики фотона.

Также линией 2 изображена «классическая» плотность вероятности:

$$\rho_{P, class}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2} \frac{E_x^2}{4\pi} \frac{1}{E}, \quad (12)$$

которую мы определили как половину отношения классической плотности энергии  $w_{class} = (E_x^2 + H_y^2)/8\pi$  к средней энергии  $\bar{E}$  фотона. Дополнительное деление на 2 учитывает, что в нашем случае не производится усреднение по периоду колебаний плотности энергии.



Таким образом, квантовомеханическая плотность вероятности является огибающей линией максимумов «классической» плотности.

**Интерференционный опыт Юнга**

Когда обсуждают проблему корпускулярно-волнового дуализма, то в экспериментах типа опыта Юнга для объяснения волновых свойств

частиц, обладающих массой, привлекают волновую функцию в координатном представлении. Аналогичную же картину, наблюдаемую со светом на метафизическом языке, объясняют, апеллируя к классической электродинамике. Для опыта Юнга, например, результат интерференции сводится к установлению разности фаз двух монохроматических волн, испускаемых щелями 1 и 2, попадающих в некоторую точку  $P$  на втором экране.

В [1] была высказана идея, что подобная фаза  $\varphi = \mathbf{k}\mathbf{r} - kct$  имеется в наличии в каждом слагаемом волновой функции фотона (2). Если излучение более-менее монохроматично, то в выражении для плотности вероятности, очевидно, возникает член, пропорциональный косинусу разности фаз  $\delta = \varphi_1 - \varphi_2 = k(r_1 - r_2)$  этих двух волн (испущенных щелями 1 и 2). Это обстоятельство также дает объяснение возникновению интерференционных полос подобно объяснению классической электродинамики.

В [2] и [5] эта идея бала рассмотрена более конкретно, но были использованы разные способы приближенного вычисления интегралов, а также разные параметризации коэффициентов  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ . В [2] вместо (5) коэффициенты  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$  были выбраны равными

$$b(\mathbf{k}, \pm 1) = b(k, \pm 1) = \frac{\alpha}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\alpha^2(k - k_0)^2\right], \quad (13)$$

что соответствует распространению сферической волны, описывающей состояние фотона со средним нулевым вектором импульса и средним его модулем, равным  $\hbar k_0$ . Хотя (13) не удовлетворяет нормировке функции (2) на единичную вероятность, выбор (13) реализует дельтаобразную функцию для  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ , позволяющую наглядно выделить монохроматическую волну в разложении (2) по плоским волнам и, кроме того, получить относительно простое аналитическое выражение для волновой функции фотона. Ее нормировку в таком случае можно произвести заново и в результате объяснить можно однофотонную интерференцию способом, как в [2].

Хотя для объяснения опыта Юнга нормировка волновой функции фотона (2), по сути, не существенна, однако для полноты рассуждений следует привлечь также и такой выбор коэффициентов  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$ , при котором нормировка на единичную вероятность функции (2) выполнялась бы автоматически. Такой выбор был сделан в [5], а именно полагалось, что

$$b(\mathbf{k}, \pm 1) = b(k, \pm 1) = \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{\alpha}{8\pi\sqrt{\pi}}} \exp\left[-\alpha^2(k - k_0)^2/2\right], \quad (17)$$

что также соответствует сферической волне со средним нулевым вектором импульса и средним его модулем, равным  $\hbar k_0$  при  $\alpha \rightarrow \infty$ . Разлагая, так же как в [2], множитель  $e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}}$ , имеющийся в (2), по сферическим функциям, а именно:

$$e^{i\mathbf{k}\mathbf{r}} = \sum_{\ell=0}^{\infty} \sum_{m=-\ell}^{\ell} i^{\ell} j_{\ell}(kr) Y_{\ell m}^*(\theta, \varphi) Y_{\ell m}(\theta_r, \varphi_r), \quad (18)$$

где  $\theta_r, \varphi_r$  определяют радиус-вектор  $\mathbf{r}$  в сферической системе координат конфигурационного пространства,  $j_{\ell}(kr)$  – сферические функции Бесселя, и, используя векторы поляризации (6) – (7), из (2) по-прежнему, как в [2], получаем

$$\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{1}{r\sqrt{4\pi}} \times \int_0^{\infty} k b(k, \pm 1) e^{\mp i k c t} \begin{pmatrix} \sin(kr) - i \cos(kr) \cos(\theta_r) \\ 0 \\ i \cos(kr) \sin(\theta_r) e^{i\phi_r} \end{pmatrix} dk, \quad (19)$$

где мы пренебрегли слагаемыми, пропорциональными  $1/r^2$ , имея в виду излучение в волновой зоне, а также слагаемыми с  $|m| \geq 2$ , которые содержат множитель  $\sin^2(\theta_r)$ , близкий к нулю при  $\theta_r \ll 1$ , с учетом, что в интерференционную картину опыта Юнга дают вклад именно малые углы  $\theta_r$ . В (19) коэффициент  $b(\mathbf{k}, \pm 1)$  еще не задан в конкретном виде. Подставив вместо него выражение (17), при  $\alpha \rightarrow \infty$ , что окончательно соответствует выделению данным способом монохроматической волны, находим

$$\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{e^{\mp i k_0 c t}}{4r\sqrt{\alpha\pi\sqrt{\pi}}} \times \begin{pmatrix} \sin(k_0 r) - i \cos(k_0 r) \cos(\theta_r) \\ 0 \\ i \cos(k_0 r) \sin(\theta_r) e^{i\phi_r} \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Запишем волновую функцию фотона, проходящего «сразу через оба отверстия» на первом экране в опыте Юнга, как сумму двух слагаемых, каждое из которых имеет вид (20):

$$\begin{aligned} \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) &= \Psi_1^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) + \Psi_2^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = \\ &= \Psi_1^{(\pm)}\left(\mathbf{r}_1 + \frac{\mathbf{d}}{2}, t\right) + \Psi_2^{(\pm)}\left(\mathbf{r}_2 - \frac{\mathbf{d}}{2}, t\right) = \quad (21) \\ &= \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{A e^{\mp i k_0 c t}}{r_1} \begin{pmatrix} \sin(k_0 r_1) - i \cos(k_0 r_1) \cos(\theta_{r_1}) \\ 0 \\ i \cos(k_0 r_1) \sin(\theta_{r_1}) \end{pmatrix} + \\ &+ \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \frac{A e^{\mp i k_0 c t}}{r_2} \begin{pmatrix} \sin(k_0 r_2) - i \cos(k_0 r_2) \cos(\theta_{r_2}) \\ 0 \\ i \cos(k_0 r_2) \sin(\theta_{r_2}) \end{pmatrix}, \quad (22) \end{aligned}$$

где  $A$  – вещественная постоянная, определяемая выражением (20); углы  $\theta_{r_1}$ ,  $\theta_{r_2}$  отсчитываются от линии (каждый от своей), проходящей через середину соответствующего отверстия перпендикулярно плоскостям экранов; вектор  $\mathbf{d}$  соединяет оба отверстия; углы  $\varphi_{r_1}$ ,  $\varphi_{r_2}$  выбраны нулевыми;  $r_1$  и  $r_2$  – расстояния от отверстий до точки  $P$  наблюдения интерференции на втором экране (отстоящем от первого на расстоянии  $\ell$ ).

Записав плотность вероятности обнаружения фотона согласно формуле (см. [1, 2, 11])

$$\rho_P^{(\pm)}(\mathbf{r}, t) = [\Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t)]^+ \Psi^{(\pm)}(\mathbf{r}, t), \quad (23)$$

легко убедиться, что результат интерференции определяется интерференционным членом, который после преобразований приводится к виду

$$\begin{aligned} \rho_{\text{int}} &= \frac{2A^2}{r_1 r_2} \left[ \sin(k_0 r_1) \sin(k_0 r_2) + \right. \\ &\left. + \cos(k_0 r_1) \cos(k_0 r_2) \cos(\theta_{r_1} - \theta_{r_2}) \right]. \quad (24) \end{aligned}$$

В геометрии опыта Юнга, которая рассматривается в классической электродинамике, полагается, что  $r_1 + r_2 \approx 2\ell$ ,  $r_2 - r_1 = \Delta$ , где  $\Delta$  – оптическая разность хода лучей, исходящих (в вакууме или воздухе) от обоих отверстий. Реализуются также и приближенные равенства  $\cos(\theta_{r_1} - \theta_{r_2}) \approx 1$ ,  $r_1 r_2 \approx \ell^2$ ,  $\Delta \approx z d / \ell$ , где  $z$  – координата точки  $P$  на втором экране, отсчитанная от (средней) линии симметрии интерференционной картины. С учетом этих соотношений интерференционный член (24) приобретает в точности такой же вид, что и в классической электродинамике:

$$\rho_{\text{int}} = \frac{2A^2}{\ell^2} \cos(k_0 \Delta) = \frac{2A^2}{\ell^2} \cos \delta, \quad (25)$$

где  $\delta = 2\pi \Delta / \lambda_0$  – разность фаз двух interfering лучей с точки зрения классической электродинамики,  $k_0 = 2\pi / \lambda_0$  – волновое число соответствующего (почти) монохроматического излучения с длиной волны  $\lambda_0$ .

Таким образом, волновая функция фотона в координатном представлении дает возможность объяснить волновые явления на единой основе для всех квантовых «частиц» (как для частиц, имеющих массу, так и для фотонов). Этот вывод становится особенно ценным, когда в эксперименте участвуют фотоны, испущенные заведомо поодиночке.

### Интерференция в «однофотонной стоячей волне»

Пусть классическая электромагнитная монохроматическая линейно поляризованная волна распространяется вдоль оси  $z$  с частотой  $\omega = kc$ . Запишем напряженности ее поля:

$$\begin{aligned} E_x &= H_y = A_0 \cos k(ct - z), \\ E_x &= E_y = H_x = H_z = 0. \quad (26) \end{aligned}$$

Можно показать, что согласно [11, 13] соответствующий формулам (26) бивектор имеет вид

$$\begin{aligned} \Phi_{bv}^{(in)} &= \frac{A_0}{\sqrt{2}} e^{ik(z-ct)} \begin{pmatrix} e_{+1}(k\mathbf{e}_z) \\ e_{-1}(k\mathbf{e}_z) \end{pmatrix}, \\ e_{\pm 1}(k\mathbf{e}_z) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ \pm i \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (27) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{bv}^{(in)} &= \frac{A_0}{\sqrt{2}} e^{ik(z-ct)} \begin{pmatrix} e_{+1}(k\mathbf{e}_z) \\ e_{-1}(k\mathbf{e}_z) \end{pmatrix}, \\ e_{\pm 1}(k\mathbf{e}_z) &= \frac{1}{\sqrt{2}} \begin{pmatrix} 1 \\ \pm i \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (28) \end{aligned}$$

а бивектор, описывающий отраженную в точке  $z = 0$  волну, имеет вид

$$\Phi_{bv}^{(out)} = -\frac{A_0}{\sqrt{2}} e^{-ik(z+ct)} \begin{pmatrix} e_{+1}(-k\mathbf{e}_z) \\ e_{-1}(-k\mathbf{e}_z) \end{pmatrix}. \quad (29)$$

Тогда в соответствии с [11, 13] плотность вероятности  $\rho$  обнаружения фотона в любой точке на оси  $z$  левее плоскости отражения пропорциональна величине (аналогично (23))  $[\Phi(\mathbf{r}, t)]^+ \Phi(\mathbf{r}, t)$ , где  $\Phi(\mathbf{r}, t) = \Phi_{bv}^{(in)} + \Phi_{bv}^{(out)}$ . Используя (27), (28), получаем  $[\Phi(\mathbf{r}, t)]^+ \Phi(\mathbf{r}, t) = \text{const}$ . Следовательно, в «однофотонной стоячей волне», рассмотренной в [7], у квантовой плотности вероятности отсутствуют пучности и узлы, в отличие от электрической и магнитной составляющих классического поля. Та-

ким образом, фотон в стоячей волне равновероятно может быть обнаружен в любой точке в любой момент времени.

### Заключение

Рассмотренные примеры описания однофотонных интерференционных явлений позволяют сделать вывод, что волновые свойства фотонов однозначно можно описывать волновой функцией в координатном представлении. Важно подчеркнуть, что понятие электромагнитного поля для единичного фотона неприменимо. Его волновая функция конструируется из (комплексных) математических компонент, не измеряемых на опыте, как и для частиц, имеющих массу. Попытка использовать амплитуды перехода, апеллируя к соотношениям, формально вытекающим из соотношений для напряженностей поля, рассматриваемого классически, может привести к неадекватному описанию физических явлений. Вопрос о том, какая физика «отвечает» за волновую функцию квантового объекта, остается открытым. Для его решения нужны новые эксперименты, раскрывающие свойства физического вакуума.

### Список литературы

1. 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: 08.01.2019). doi:10.2991/itsmssm-16.2016.100.
2. Davydov A.P., Zlydneva T.P. The Modeling of the Young's Interference Experiment in terms of Single-photon wave function in the coordinate representation // *Proceedings of the IV International research conference "Information technologies in Science, Management, Social sphere and Medicine" (ITSMSSM 2017)* [Электронный ресурс]. – Tomsk: Atlantis Press, 2017. – P. 257–265. – URL: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/itsmssm-17/25887885> (accessed: 08.01.2019). doi: 10.2991/itsmssm-17.2017.54.
3. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Об интерференции света с точки зрения волновой функции фотона в координатном представлении // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: матер. 75-й междунар. науч.-техн. конф.* – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2017. – Т.2. – С. 109–112.
4. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Моделирование и анализ волновой функции фотона при квантовомеханическом объяснении опыта // *Информационные технологии в моделировании и управлении: подходы, методы, решения: сб. науч. тр. I всерос. науч. конф. Ч.1.* – Тольятти: Издатель Качалин А.В., 2017. – С. 66–74.
5. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Интерференция электромагнитных волн с точки зрения волновой функции фотона в координатном представлении // *Электромагнитные волны и электронные системы.* – 2018. – Т. 23. – № 8. – С. 27–40.
6. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Моделирование классической и квантовой плотностей вероятности обнаружения фотона фемтосекундного лазерного излучения // *Физика конденсированного состояния и ее приложения: сб. тр. всерос. науч.-практ. конф. Т. II.* / отв. ред. О.В. Ахметова. – Уфа: Изд-во РИЦ БашГУ, 2018. – С. 214–220.
7. Белинский А.В., Лапшин Б.В. Модель фотона: электромагнитное поле или концепция дальности? // *Метафизика.* – 2015. – № 1. – С. 37–49.
8. Bialynicki-Birula I. On the Wave Function of the Photon // *Acta Phys. Pol. A.* – 1994. – V. 86. – P. 97–116.
9. Давыдов А.П. Квантовая механика фотона // *НАУКА И ШКОЛА: тезисы XXXIII науч. конф. препод. МГПИ.* – Магнитогорск: Изд-во МГПИ, 1995. – С. 206–207.
10. Bialynicki-Birula I. Photon Wave Function // *Progress in Optics / edited by E. Wolf (North-Holland, Elsevier, Amsterdam, 1996).* – V. XXXVI. – P. 248–294.
11. Давыдов А.П. Волновая функция фотона в координатном представлении // *Вестник МаГУ.* Вып. 5. – Магнитогорск: МаГУ, 2004. – С. 235.
12. Давыдов А.П. О волновой функции фотона в координатном представлении в терминах электромагнитных потенциалов // *Современные проблемы науки и образования: материалы L внутривузовской научной конференции преподавателей МаГУ.* – Магнитогорск: МаГУ, 2012. – С. 228–229.
13. Давыдов, А.П. Квантовая механика фотона: волновая функция в координатном представлении // *Электромагнитные волны и электронные системы.* – 2015. – Т. 20 – № 5. – С. 43–61.
14. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. О волновой функции фотона в координатном и импульсном представлениях // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2016. – № 11 (53). – Часть 4. – С. 152–155.
15. Mignani R., Recami E., Baido M. About Diraclike Equation for the Photon, According to Ettore Majorana // *Lett. N. Cim.* – 1974. – V. 11. – No 12. – P. 568–572.
16. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. О релятивистской инвариантности уравнения непрерывности в квантовой механике фотона // *Международный научно-исследовательский журнал.* – 2016. – № 4 (46). – Часть 6. – С. 134–137.
17. Давыдов А.П., Злыднева Т.П. Однофотонный подход к моделированию короткоимпульсного лазерного излучения // *Вестник науки и образования Северо-Запада России.* [Электронный ресурс]. – 2015. – Т.1. – № 4. – URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№4-Давыдова.pdf> (дата обращения: 19.03.2019).
18. Davydov A., Zlydneva T. Modeling of short-pulse laser radiation in terms of photon wave function in coordinate representation // *Приборостроение, электроника и телекоммуникации – 2015: сб. статей I междунар. форума IEET-2015.* [Электронный ресурс]. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2016. – URL: <http://pribor21.istu.ru/proceedings/IEET-2015.pdf> (дата обращения: 16.02.2019).

19. Davydov A.P., Zlydneva T.P. On the reduction of free photons speed in modeling of their propagation in space by the wave function in coordinate representation // 2016 13<sup>th</sup> International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE – 2016). – Novosibirsk: Novosibirsk state technical university, 2016. – V. 1. – Part 2. – P. 233–240.
20. Davydov A.P., Zlydneva T.P. Space-Time Probability Density of Detection of a Photon in Laser Beam of the Femtosecond Range // 2018 14th International scientific-technical conference on actual problems of electronic instrument engineering (APEIE) – 44894 proceedings. – Novosibirsk: Novosibirsk state technical university, 2018. – V. 1. – Part. 4. – P. 58–69. – DOI: 10.1109/APEIE.2018.8545314.

#### Сведения об авторах

**Давыдов Александр Петрович** – канд. физ.-мат. наук, доц., доц. каф. ПиТФ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: ap-dav@yandex.ru.

**Злыднева Татьяна Павловна** – канд. пед. наук, доц., доц. каф. ПМИИ, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: tapazl@yandex.ru.

---

УДК 378.09

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ОБУЧЕНИЯ МАТЕМАТИКЕ СТУДЕНТОВ-ЗАОЧНИКОВ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПАРАДИГМЫ

Бондаренко Т.А., Каменева Г.А., Анисимов А.Л.

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

**Аннотация.** Статья посвящена проблемам обучения математике студентов-заочников в условиях радикально изменяющейся образовательной среды. Заочная форма обучения в вузе является одной из самых популярных форм повышения квалификации современного специалиста. Её главное преимущество заключается в том, что человек получает образование, занимаясь в основном самостоятельно, не прерывая рабочей деятельности. Однако именно самостоятельность в процессе обучения и является основным источником проблем.

**Цель статьи:** выявить основные методические проблемы, возникающие в процессе обучения студентов и предложить пути решения обозначенных проблем.

**Методология исследования** базируется на компетентностном и деятельностном подходах. Основные методы исследования: анализ и обобщение научно-исследовательской, методической литературы, анализ нормативных документов, тестирование, опрос, статистические методы первичной обработки материалов, обобщение опыта в области преподавания математики в техническом вузе.

**Результаты.** Обоснована необходимость реформирования многолетней сложившейся системы обучения студентов-заочников математике в стенах университета, активного привлечения современных дистанционных образовательных технологий.

Авторами описан опыт по внедрению возможностей образовательного портала LMS MOODLE для организации самостоятельной учебной деятельности студентов заочного отделения.

**Ключевые слова:** дистанционные образовательные технологии, самостоятельная работа студентов, компетенции, образовательный портал, LMS MOODLE, обучение математике.

О современных проблемах заочного обучения студентов технического вуза сказано много.

Проблемы современного заочного обучения в вузе могут быть сформулированы следующим образом:

1. Уменьшение аудиторного времени общения (объёма контактной работы) студента-заочника и преподавателя. С момента введения ФГОС, начиная с 2011 года, количество часов, предусмотренных на аудиторную нагрузку, проверку контрольных работ, резко сокращено. И с каждым годом падение часов продолжается. Для примера ситуация по направлению 21.05.04 «Горное дело» только за последние три года: аудиторная работа составила 10,6% от общего числа часов, предусмотренной учебным планом, в 2015-2016 учебном году, 6,9% в 2017 году, 9,1% в 2018 году. Сокращается количество семестров, отводимых на изучение математики. В настоящий момент вместо четырёх учебных семестров осталось только три (табл. 1).

Таблица 1

	2015 г	2017 г.	2018 г
<b>ЗЕ/ак.часы</b>	21/756	21/756	14/504
<b>Контактн.раб.</b>	90,5	59,8	53,4
<b>аудиторная</b>	80	52	46
<b>внеаудиторная</b>	10,5	7,8	7,4
<b>Самост.раб.</b>	640,3	671	429,3
<b>Кол-во к.р.</b>	4	4	3

2. Традиционно, для контроля процесса самостоятельной подготовки студентов к зачетам и экзаменам предусматривалось выполнение контрольных работ. Работы формировались тематически, их количество коррелировало с количеством изучаемых разделов математики. За последние годы произошло существенное сокращение количества контрольных работ, предусмотренных учебной программой и планом, а также времени, отводимого на проверку преподавателем одной работы (табл. 2).

Таблица 2

	2012 г	2017 г.	2018 г
Кол-во контрольных работ	8	4	3
Время на проверку, мин	45 на 2	12	12

Низкий уровень базовой подготовки (по данным статистики студенты-заочники в большинстве своём школу закончили сравнительно давно, основные положения школьной программы забыты).

Низкая познавательная активность студентов, как следствие, отсутствие познавательной мотивации. По результатам проведённого опроса среди мотивов, побудивших поступить в вуз, преобладает стремление получить диплом как необходимое условие продвижения по служебной лестнице. Повышение уровня профессионализма не является главным мотивом.

Современная концепция образования подразумевает изменения функционала преподавателя высшей школы: из носителя и транслятора уникальных знаний он превращается в организатора самостоятельной учебно-познавательной деятельности студентов. Однако именно неспособность студента-заочника самостоятельно и эффективно организовать свою регулярную учебную деятельность и является основным источником проблем. Математика не самая легкая дисциплина для изучения, еще сложнее обстоит дело с самостоятельным изучением ее. Более 90% часов, выделяемых на освоение математики, отводится на самостоятельную работу.

С появлением образовательного портала LMS MOODLE появились новые методические возможности построения учебного курса «Математика» для студентов заочного отделения и общения преподавателя со студентами.

Образовательный портал университета может рассматриваться как актуальный инструментарий в работе преподавателя. Остановимся на анализе опыта внедрения образовательного портала в систему обучения математике студентов заочного института. Использование образовательного портала для работы со студентами ОЗО на кафедре высшей математики началось в пробном режиме в 2017-2018 учебном году, вошло в активную фазу в текущем учебном году.

Преподаватели в обязательном порядке выкладывают на портале задания контрольных работ. Наполнение преподавателями своих страниц портала учебными материалами осуществляется в добровольном порядке.

Наполняя портал, мы учитывали необходимость включения четырех системообразующих блоков: информационно-теоретического, практико-ориентированного, коммуникативного и контролирующего.

Поскольку наполнение портала является относительно добровольным делом для преподавателя, то качество работы разнится. Объем, качество материалов информационно-теоретического блока, сформированных на страницах преподавателей, отличаются.

Коммуникативный блок на образовательном портале преимущественно представлен ресурсом «Форум». Студенты имеют возможность написать сообщение преподавателю и оперативно получить ответ.

Контролирующий блок представлен в большинстве традиционными контрольными работами, перенесенными из печатной версии в электронную. Отдельные преподаватели апробировали тестовые задания.

В текущем учебном году мы впервые апробировали выкладку выполненных контрольных работ студентами на портале. Студент освобождается от необходимости привозить лично, присылать почтой контрольную работу. Регистрация и проверка контрольных работ впервые осуществлялась в электронном виде через образовательный портал.

Перечислим, какие проблемы выявлены за период экспериментальной работы.

Студенты специальностей и направлений, связанных хоть немного с компьютерной техникой, информационными технологиями, достаточно легко вошли в работу с порталом, и проблем с обращением к электронным ресурсам, прохождению тестирования, выкладкой контрольных работ для проверки в нужном формате не испытывают.

Остальные продолжили сдавать контрольные работы в рукописном варианте лично в кабинет математики. Ряд студентов испытывают затруднения в вопросах преобразования файлов в нужный формат (что свидетельствует о низкой компьютерной грамотности).

Наблюдается авральный характер работы студентов накануне и в период сессии и, как следствие, авральный характер работы преподавателя по проверке контрольных работ, тестовых материалов.

Студентами было отмечено, что отсутствие доступа к Интернету ограничивает возможность пользования образовательным порталом. С позиции преподавателей математики можем диагностировать, что студенты слабо знакомы с редакторами формул, с приложениями, позволяющими выполнять графические работы, ускоряющими вычислительные действия.

За два года экспериментальной работы на портале мы дважды провели анкетирование студентов ОЗО по вопросам их работы на портале.

Первое анкетирование прошло в июне 2018 года; отвечали студенты, прошедшие 2 семестра обучения. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

<b>Какие источники информации использовали для выполнения контрольных работ, подготовки к сессии?</b>	книги	6%
	портал	62%
	ссылки на порт	32%
	Интернет	32%
	репетитор	6%
	другое	9%
<b>Как часто заходите на портал?</b>	никогда	6%
	раз в семестр	6%
	раз в месяц	32%
	раз в неделю	24%
<b>С какой целью заходите на портал?</b>	чаще	32%
	скачать теорию	56%
	скачать ДЗ	91%
	пройти тест	6%
	за консультацией	0%
<b>Удобно ли общение с преподавателем через портал?</b>	выложить ДЗ	21%
	да	71%
	нет	14%
<b>Удобен ли дедлайн?</b>	не совсем	15%
	да	68%
	нет	21%
<b>Что добавить на портал?</b>	затрудняюсь	11%
	лекции	24%
	примеры	79%
	семинар	6%
	чат, форум	11%
	ссылки на источники	26%
	презентации, видео	29%

Второе тестирование провели в январе 2019 года, по прошествии третьего семестра. В табл. 4 приведены заданные вопросы и полученные ответы.

Таблица 4

Вопросы	Ответы студентов
1. Как я провел подготовку к сессии?	– использовал портал, читал, разбирался; – искал информацию в Интернете; – никак, никогда, сложно.
2. Какие сложности испытывал?	– нужна консультация, помощь преподавателя; – нет сложностей.
3. Почему не использую образовательный портал?	– проблемы Интернета, проблемы с входом; – график работы,
4. Предложения по организации учебного процесса	

В ответах на четвёртый вопрос прозвучало несколько проблем.

Одна из них – проблема, связанная с графиком учебного процесса.

Прежде существовали две сессии – зимняя и летняя. Только для 1 курса вводилась установочная сессия. Сейчас и на 1-м, и на 2-м курсах – по три сессии. При этом количество часов для лекционных и практических занятий резко сокращено. Период сессии сокращен до 10 дней, интенсивность учебного дня для студента снижена. Летняя сессия преимущественно отчетная, не учебная. Для ряда студентов это прежде всего финансово затруднительно: необходимо трижды в год приезжать, а это транспортные расходы и ограничение количества оплачиваемых учебных отпусков по месту работы.

В нынешнем году промежуток между установочной и зимней сессиями был очень коротким. Заложенный материал велик, как и часы. В итоге студенты имеют очень неравномерный учебный график.

Таблица 5

Установочная сессия, 1 курс	Зимняя сессия, 1 курс	Летняя сессия, 1 курс	Установочная сессия, 2 курс	Зимняя сессия, 2 курс
Конец октября – середина ноября	Середина января	Конец июня	Конец октября – середина ноября	Середина января
Самостоятельная работа студента составляет 180-216 часов, рассчитана на 2 месяца или 25-30 часов/неделю		4 месяца каникулы		
	Самостоятельная работа студента составляет 180-200 часов, рассчитана на 5 месяцев или 9 часов/неделю	Самостоятельная работа студента составляет 180-216 часов, рассчитана на 2 месяца или 25-30 часов/неделю		

Неоднократно прозвучало также пожелание об организации небольших модульных курсов, предусматривающих, в том числе, повторение основных положений школьной математики.

Высказаны мнения о необходимости видеокурсов, мини-лекций, практикумов по разбору ключевых теоретических вопросов, объяснению алгоритмов решения типовых задач. Видеоматериалы доступнее чтения учебников.

Прозвучало предложение увеличить число учебных часов, дать возможность студенту часть контрольной работы выполнять в присутствии преподавателя, чтобы иметь возможность задавать вопросы.

Подводя итоги двухлетней работы по организации образовательного пространства для студентов-заочников на образовательном портале, мы пришли к следующим **выводам**:

1. Необходимо совершенствовать, унифицировать информационно-теоретический блок, разра-

ботать практико-ориентированный блок. Информационно-теоретический блок должен содержать четко структурированный, мелко дозированный учебно-методический материал как печатного формата, так и в виде видео-лекций. Практико-ориентированный блок должен содержать большое количество тренажеров, тестовых материалов, что позволит выстраивать индивидуальную траекторию обучения.

2. Оптимизировать контролирующий блок как в плане наполнения, так и в вопросе учета времени работы преподавателя. Использование коммуникативного блока требует переосмысления, учитывающего специфику преподаваемого предмета. В контролирующем блоке проверку знаний целесообразно осуществлять посредством большого числа многоуровневых тематических тестов, содержащих как теоретические вопросы, так и вычислительные задачи. Для их создания необходим большой кафедральный банк заданий.

3. Оптимизировать график сессионных периодов.

4. Рассмотреть вопрос о целесообразности выделения на образовательном портале для заочного обучения унифицированных курсов, аналогичных курсам дистанционной формы обучения.

#### Список литературы

1. Akmanova S.V., Kurzaeva L.V., Kopylova N.A. Designing a media educational concept of developing lifelong self-learning individual readiness // Медиаобразование. – 2018. – № 2. – С. 37-49. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35078379>
2. Anisimov A., Bondarenko T., Kameneva G. The Use of ACROTEX Library for Creating Electronic Educational Resources // DEStech Transactions on Computer Science and Engineering: 2018 International Conference on Physics, Computing and Mathematical Modeling (PCMM-2018). 2018. DOI: 10.12783/dtce/pcmm2018/23746
3. Kameneva G.A., Romanov P.Yu., Anisimov A.L., Bondarenko T.A. Using Test Technologies In The Conditions Of Informatization Of Higher Education // 7th ic-CSBs 2018 - The Annual International Conference on Cognitive - Social, and Behavioural Sciences, Moscow, Future Academy, 2019. – P. 670-677. – URL: <https://www.futureacademy.org.uk/files/images/upload/iccsbs2018F73.pdf>
4. Анисимов А.Л., Бондаренко Т.А., Каменева Г.А. Разработка современных тестовых материалов для организации самостоятельной работы студентов при изучении высшей математики с применением пакета LaTeX // Перспективы науки и образования. – 2019. – № 2 (38). – С. 428-441. – doi: 10.32744/pse.2019.2.32
5. Анисимов А.Л., Бондаренко Т.А., Каменева Г.А. Использование опыта работы с открытыми образовательными платформами для разработки образовательных ресурсов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: тезисы докладов 76-й междунар. науч.-техн. конф. – 2018. – С. 456. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35678657>
6. Анисимов А.Л., Бондаренко Т.А., Каменева Г.А. О разработке электронных средств обучения // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 25-32. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35189929>
7. Бондаренко Т. А., Каменева Г. А. Педагогические условия эффективного формирования рефлексивной компетенции студентов при обучении математике // Science for Education Today. – 2019. – № 2. – С.96-107. – DOI: <http://dx.doi.org/10.15293/2658-6762.1902.07>
8. Бондаренко Т.А., Каменева Г.А. Формирование рефлексивной компетенции студентов при обучении математике // Проблемы современного педагогического образования. – 2019. – № 62-1. – С. 60-63. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37032562>
9. Бондаренко Т.А., Каменева Г.А., Анисимов А.Л. Использование информационно-коммуникативных технологий как условие организации самостоятельной работы студента // Проблемы современного педагогического образования. – 2019. – № 62-1. – С. 57-60. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37032561>
10. Злыднева Т.П. Возможные пути успешной реализации ФГОС ВПО третьего поколения // Педагогические аспекты математического образования: сб. науч. тр. – Магнитогорск, 2012. – Вып. 9. – С. 33-36. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23680252>
11. Каменева Г.А., Бондаренко Т.А. Педагогические условия активизации учебно-познавательной деятельности студентов в современных условиях информатизации образования // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. – 2018. – Т. 8. – №4. – С.172-186. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35605577>
12. Пузанкова Е.А. Об опыте применения технологий интернет-тестирования в процессе изучения курса «Математика» студентами технического вуза // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2011. – Т. 1. – № 69. – С. 61-63. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17682401>

#### Сведения об авторах

**Бондаренко Татьяна Алексеевна** – канд. пед. наук, доц. каф. высшей математики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [bondarenko\\_ta@mail.ru](mailto:bondarenko_ta@mail.ru)

**Каменева Галина Анатольевна** – канд. пед. наук, доц., доц. каф. высшей математики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [kameneva\\_galina@mail.ru](mailto:kameneva_galina@mail.ru)

УДК 372.851

## К ВОПРОСУ О НЕОБХОДИМОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТНОГО ПОДХОДА В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ СОВРЕМЕННОЙ ШКОЛЫ

Москвина Е.А., Мухаметкужина Э.Н.

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

**Аннотация.** В работе рассмотрены основные положения компетентностного подхода в обучении математике в общеобразовательной школе. Проанализированы понятия «компетенция» и «компетентность», выявлены различия между ними, установлена взаимосвязь между понятиями «компетентность» и «готовность». В статье выделена трехуровневая иерархия компетенций, выявлены ключевые компетенции и дано описание каждой из них. Авторы рассматривают компетентную задачу как средство формирования у обучающихся умений, позволяющих действовать в новых, неопределенных проблемных ситуациях, для которых заранее нельзя наработать соответствующие умения. В статье выделены компоненты образовательного процесса, даны их характеристики на основе компетентностного подхода. Акцент сделан на определение целей и задач математического образования, отбор его содержания, организацию образовательного процесса и оценивание образовательных результатов с позиции компетентностного подхода. Проведенный сравнительный анализ традиционного и компетентностного подходов в школьном образовании показал отличие данных подходов практически по всем параметрам. Установлено, что внедрение компетентностного подхода в обучение математике будет способствовать формированию всесторонне развитой личности обучающегося, владеющего не только знаниями в области математики, но и умеющего применять их на практике как инструмент решения разнообразных практических задач.

**Ключевые слова:** качество образования, содержание образования, математическое образование, педагогическая технология, компетентностный подход, компетенция, компетентность, ключевые компетенции, компетентная задача.

Главные изменения в обществе, ускорение темпов его развития и процессов информатизации, значительно влияют на ситуацию в сфере образования. Сложно представить, каким мир будет в конце XXI века и какие требования будут предъявляться к специалистам лет через 50. Продолжать свою трудовую деятельность примерно до 2070 года будут именно сегодняшние школьники. Поэтому уже сейчас школа должна готовить своих обучающихся к изменениям, совершенствовать у них такие качества личности, как конструктивность, динамизм, мобильность. В настоящее время в ходе дискуссий о проблемах и путях модернизации российского образования и перемен, происходящих в обществе, перед современной школой был поставлен ряд задач, одна из которых – формирование ключевых компетенций, определяющих содержание образования, в том числе и математического.

Сталкиваясь с нестандартной ситуацией, школьнику зачастую трудно переформулировать поставленную перед ним задачу, перевести её на математический язык, выделить математическое

содержание задачи, найти имеющиеся в ней математические объекты [6]. В связи с этим важная цель современной школы – формирование всесторонне развитой личности школьника, владеющего не только знаниями в области математики, но и умеющего применять их на практике как инструмент решения разнообразных жизненных задач.

Поскольку невозможно получить новое качество математического образования за счет увеличения объема знаний или изменения их содержания, актуальной является проблема поиска путей повышения качества математического образования [5]. Требуются адекватные педагогические технологии, в рамках которых содержание раскрывается наиболее эффективным образом [8, 9]. На наш взгляд, реализация компетентностного подхода в обучении математике позволит решить обозначенную нами проблему.

По мнению многих российских и зарубежных ученых, именно компетентностный подход является способом достижения высокого качества образования. Так, например, О.С. Таизова, Д.А. Иванов, В.К. Загвоздкин, А.Г. Каспржак и др. считают, что речь идет о новой единице измерения образованности человека, определяющей направ-

ление изменения образовательного процесса и его приоритетов [4]. Профессор Н.А. Селезнева рассматривает внедрение данного подхода как один из главных механизмов повышения мотивации обучающихся к получению образования высокого качества за счет осознания его пользы для сегодняшней и дальнейшей жизни [4]. Наиболее точно значимость компетентностного подхода определяет профессор И.А. Зимняя. Она постулирует, что данный подход описывает самого индивида, прошедшего обучение в определенной образовательной системе. Это – его опыт как совокупность сформированных интеллектуальных, поведенческих, личностных качеств, знаний и умений, которые позволяют ему разумно действовать на основе этих знаний в любой ситуации [4].

В компетентностном подходе можно выделить два базовых понятия: «компетенция» и «компетентность». Выясним, в чем заключается их отличие.

Проанализировав психолого-педагогическую литературу, мы пришли к выводу, что на сегодняшний день отсутствует единое толкование обозначенных понятий. Однако большинство авторов придерживаются следующего мнения: *компетенция* – это набор знаний, умений, навыков, личностных качеств, опыта в конкретной сфере деятельности, связанный с качественным освоением содержания образования [1, 4]. Другими словами, с позиции компетентностного подхода, *компетенция* есть цель образования, а *компе-*

*тентность* – результат образования. Можно охарактеризовать понятие *компетентности* как обобщенную способность обучающегося к решению жизненных и профессиональных задач. Это – наличие у человека необходимых знаний и способностей, позволяющих анализировать, делать выводы и принимать активные решения, рационально и эффективно действовать по их реализации. Понятие компетентности связано с давно существующим понятием готовности и можно сказать, что компетентность – это готовность к осуществлению какой-либо деятельности.

В соответствии с разделением содержания образования на общее метапредметное, межпредметное и предметное можно выделить трехуровневую иерархию компетенций (рис. 1).

Ключевые компетентности, являющиеся важнейшими для жизни в современном мире, относятся к метапредметному содержанию образования. Наиболее полный перечень ключевых компетенций, учитывая реальную ситуацию, основные виды деятельности обучающегося, цели общего образования, выделяет А.В. Хуторской [10]. Описание ключевых компетенций представлено в табл. 1.

Как известно, в настоящее время в нашей стране на смену традиционному приходит компетентностный подход в образовании. Сравнительная характеристика данных подходов в образовательном процессе приведена в табл. 2.

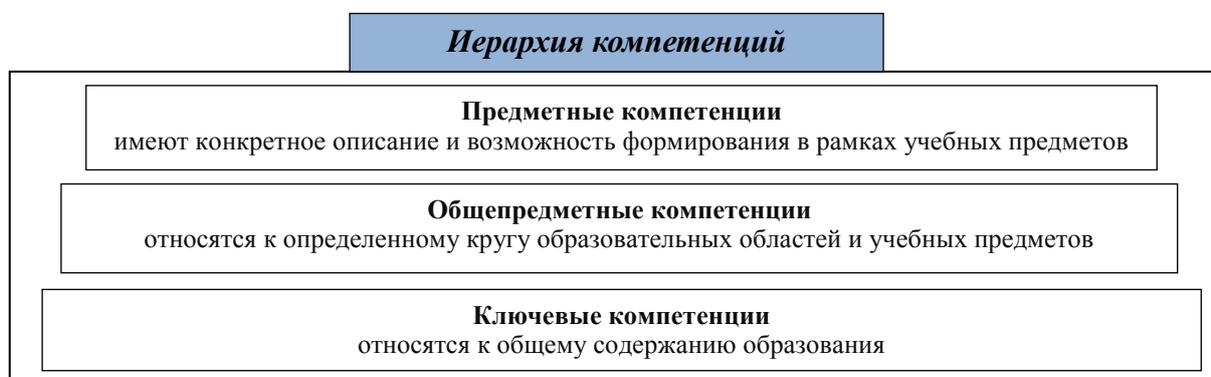


Рис. 1. Иерархия компетенций

Таблица 1

Описание ключевых компетенций

<b>Ключевая компетенция</b>	<b>Описание ключевой компетенции</b>
<i>Ценностно-смысловая компетенция</i>	Ценностные представления обучающегося, его способность ориентироваться в окружающем мире и осознавать свою роль в нем, уметь ставить цели, принимать решения и достигать их
<i>Общекультурная компетенция</i>	Перечень вопросов, с которыми обучающийся хорошо знаком; духовно-нравственные основы жизни всего общества и отдельных групп, отличительные черты национальной культуры разных народов, роль религии и науки в жизни человека, их влияние на мир

<i>Ключевая компетенция</i>	<i>Описание ключевой компетенции</i>
<i>Учебно-познавательная компетенция</i>	Способность обучающегося познавать, изучать мир. Такая учебно-познавательная деятельность включает элементы логической, методологической, общеучебной деятельности. В пределах этой компетенции устанавливаются требования соответствующей функциональной грамотности: умение отличать факты от предположений, обладание измерительными навыками, использование статистических, вероятностных и других иных методов познания
<i>Информационная компетенция</i>	Умение работать с информацией, содержащейся в учебных предметах и образовательных областях, а также в окружающем мире; умение самостоятельного поиска, анализа и отбора нужной информации, ее редактирования, сохранения и передачи с помощью реальных многофункциональных, информационных устройств и технологий, таких как телевизор, телефон, компьютер, Интернет, аудио-видеозапись, СМИ, принтер и т.д.
<i>Коммуникативная компетенция</i>	Умение взаимодействовать с окружающими и удалёнными людьми, работать в группе, владение разными языками, различными социальными ролями; умение представить себя, написать письмо, анкету, заявление, задать вопрос, вести дискуссию и др.
<i>Социально-трудовая компетенция</i>	Владение знанием выполнения определенной роли в обществе (роль гражданина, наблюдателя, избирателя, представителя); владение знанием своих прав (права потребителя, покупателя, клиента, производителя); умение подвергать анализу ситуацию на рынке труда, знание этики трудовых и гражданских взаимоотношений, умение действовать в соответствии с личной и общественной выгодой; владение минимально необходимыми для жизни в современном обществе знаниями и навыками функциональной грамотности и социальной активности
<i>Компетенция личностного самосовершенствования</i>	Физическое, духовное и интеллектуальное саморазвитие, эмоциональная саморегуляция и самоподдержка обучающегося; владение способами деятельности в собственных интересах и возможностях, что выражается в непрерывном самопознании, развитии необходимых современному человеку личностных качеств, формировании психологической грамотности, культуры мышления и поведения; знание и владение правилами личной гигиены, забота о собственном здоровье, культура речи и т.д.

Таблица 2

Сравнительная характеристика традиционного и компетентностного подходов в образовательном процессе

<i>Критерии сравнения</i>	<i>Традиционный подход</i>	<i>Компетентностный подход</i>	
<i>Направленность образовательного процесса</i>	Чем больше знаний приобрел обучающийся, тем лучше, тем выше уровень его образованности (экстенсивный путь развития)	Уровень образованности определяется способностью решать проблемы различной сложности на основе имеющихся знаний (интенсивный путь развития)	
<i>Цель обучения</i>	Передача/приобретение теоретических составляющих содержания образования (знания, умения, навыки)	Ориентация на практическую составляющую содержания образования, обеспечивающая успешную жизнедеятельность (компетенции)	
<i>Формы обучения</i>	Иллюстративно-объяснительные, информационные	Проблемные: проблемного изложения, частично-поисковый, эвристический, исследовательский	
<i>Основная формула результата образования</i>	«Знаю, что»	«Знаю, как»	
<i>Характер образовательного процесса</i>	Репродуктивный	Продуктивный	
<i>Доминирующий компонент процесса</i>	Контроль	Практика и самостоятельная работа	
<i>Роль педагога</i>	Лидер	Помощник, консультант	
<i>Роль обучающегося</i>	Объект педагогического воздействия, обучаемый	Субъект познавательной деятельности, обучающийся	
<i>Результат реализации подхода в образовательном процессе</i>	<i>Знания</i>	Информация, присвоенная человеком	Существует в форме деятельности, а не информации о ней
	<i>Умения</i>	Подготовленность к практическим и теоретическим действиям, выполняемым точно, быстро и сознательно на основе усвоенных знаний	Совершенствуется не по пути автоматизации и превращения в навык, а по пути интеграции с другими компетентностями
	<i>Навыки</i>	Это действия, выполняемые автоматически	Деятельность всегда осознана, а не выполняется автоматически

Как видно из таблицы, компетентный подход отличается от традиционного практически по всем параметрам. Во втором случае на выходе позиция: «просто знаю», а в первом «знаю, как» и «смогу». И если «не знаю, как», то «научусь». Компетентный, в отличие от традиционного-репродуктивного подхода, несет в себе процессы продуктивные. Кроме того, на смену заучивания приходит усиление значения работы практической и творческой. В способах контроля успеваемости комплексное оценивание портфолио, исследовательской работы, творческих проектов позволяет более объективно оценить способности и результаты образовательной деятельности обучающихся.

В завершении сравнительного анализа можно привести пример, иллюстрирующий отличие между традиционным и компетентным подходами. Сравним школьное образование с процессом строительства: требуются строительные материалы, а также умение строить. Мы получим следующие результаты:

– традиционный подход нацелен на накопление строительных материалов, вследствие чего

мы получаем склад таких материалов и кладовщиков, способных отпустить нужные материалы по требованию;

– компетентный подход нацелен на развитие умения эффективно использовать строительные материалы, то есть на строительство дома, в результате чего мы получаем строителей, способных построить дом.

Компетентный подход в преподавании математики – это последовательность взаимосвязанных компонентов образовательного процесса (рис. 2).

Остановимся на характеристике каждого из указанных компонентов.

Целью математического образования с позиции компетентного подхода является выработка опыта, позволяющего действовать в новых, неопределенных проблемных ситуациях, для которых заранее нельзя наработать соответствующие умения.

Задачи математического образования с точки зрения компетентного подхода представлены ниже (рис. 3).



Рис. 2. Компоненты образовательного процесса

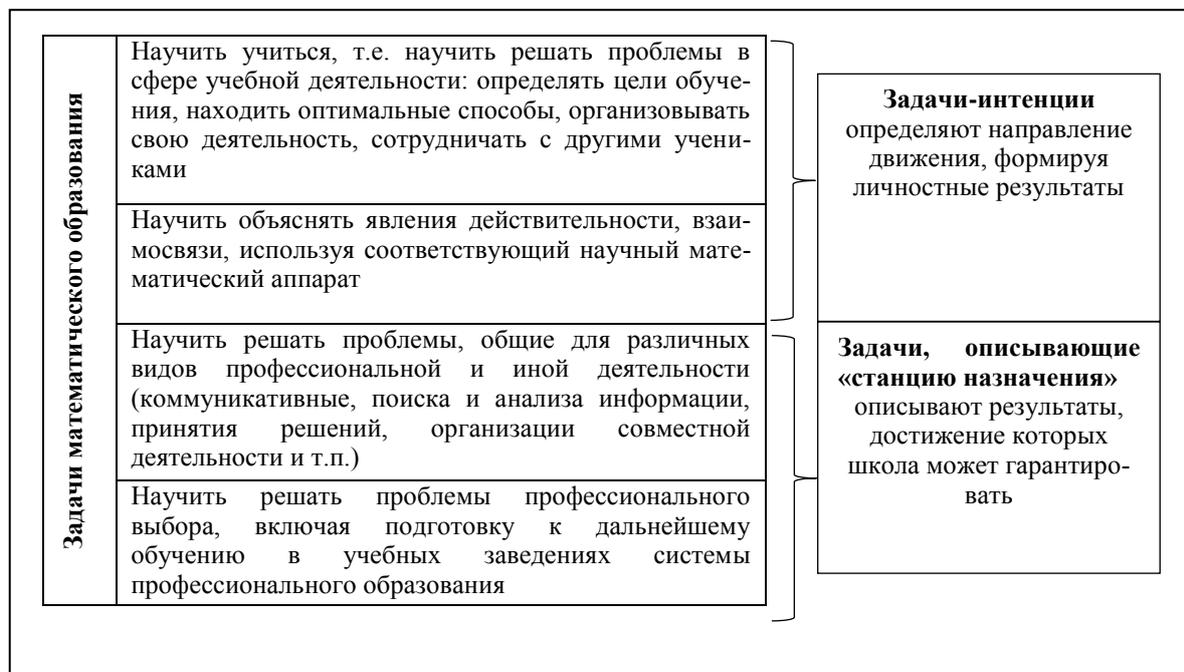


Рис. 3. Задачи математического образования с позиции компетентного подхода

После определения целей и задач образования идет отбор его содержания: сначала необходимо выяснить, для чего нужен тот или иной предмет, а затем отбирать содержание, после освоения которого достигаются желаемые результаты. С позиций компетентного подхода содержание отдельных предметов, в частности математики, следует рассматривать как элемент образовательной программы школы, то есть содержание предмета безусловно должно соответствовать содержанию базовой науки. Конечно же, обучающиеся должны получать в школе научные знания, но это не означает, что школьный предмет должен представлять собой уменьшенную копию какой-либо науки. Такой подход ведет к построению содержания образования как план развития познавательной самостоятельности школьников.

Рассмотрим вопрос, связанный с процессом организации образовательного процесса с позиции компетентного подхода. Здесь особое внимание уделяется формированию умений, позволяющих действовать в новых ситуациях, с которыми учащиеся ранее не сталкивались. Соответствующие средства для достижения требуемых результатов следует находить в процессе решения подобных ситуаций. Одним из таких средств является «компетентная задача», имеющая практическую направленность. Как говорил немецкий философ И.В. Гёте: «В конце концов от всех приобретенных знаний в памяти у нас останется только то, что мы применили на практике» [4]. Компетентной считается та задача, которая имеет не только учебное, но и жизненное обоснование и которая у компетентного ученика не вызовет безответного вопроса: «Зачем мы это делаем?». Так, например, задачами на формирование информационной компетенции могут служить задачи на составление схем, графиков, упорядочение или ранжирование информации, задача с избыточной информацией или с недостатком информации, подготовка докладов, презентаций, учебных пособий.

На наш взгляд, немаловажным аспектом при использовании современного подхода является выбор соответствующих технологий, которые являются необходимыми инструментами при реализации выбранного подхода. Для компетентного подхода на уроках математики целесообразно применять такие педагогические технологии, как:

- деятельностно-компетентностные;
- информационно-коммуникационные;
- проектные;
- модульное обучение.

Использование таких технологий позволяет сделать акцент на обучение через практику, продуктив-

ную работу обучающихся в малых группах, использование межпредметных связей, развитие самостоятельности [2, 3]. Обучение при этом приобретает деятельностный характер. Известно, что технологии – это всего лишь инструменты. Одна из технологий может быть лучше в достижении конкретной цели обучения, другая – для достижения иной определенной цели обучения. Мы считаем, что невозможно всегда придерживаться только одной конкретной технологии, поскольку они эффективны при умелом сочетании. Целесообразно выделить деятельностно-компетентностные технологии, так как именно они обладают всеми признаками системности и могут являться основой в ходе реализации компетентного подхода [1].

Компетенции формируются в процессе деятельности и поэтому не могут быть приобретены без опыта деятельности. В этих условиях процесс обучения приобретает новый смысл, он превращается в процесс приобретения социально значимых компетентностей. Деятельность обучающихся наиболее эффективна, если имеется интерес (мотивация) у детей. Интерес у школьников можно вызвать через проблемные ситуации, решение которых способствует развитию навыков исследовательской деятельности. Поэтому компетентностный подход в обучении школьному курсу математики целесообразно реализовывать при использовании методов проблемно-исследовательской деятельности и ИКТ.

Таким образом, учение представляет собой деятельность, в ходе которой обучающийся не только усваивает знания и способы их построения, но и сам создает новые знания, где основой ставится личность, ее самооценку, субъективный опыт каждого. Речь здесь идет о выработке субъектного опыта деятельности в процессе произвольного обучения [5, 7].

Обратимся к вопросу, что представляет собой процесс оценивания при компетентностном подходе в обучении. Оценивание – это процесс наблюдения за учебной и познавательной деятельностью обучающихся, а также процесс описания, сбора, регистрации и интерпретации информации об ученике с целью улучшения качества образования. Оценивание целесообразно осуществлять на каждом уроке, в повседневной практике. Важно, чтобы оно было направлено на каждого обучающегося. Все это будет способствовать его росту. Регулярно следует осуществлять такие элементы учебного процесса, как:

- обеспечение обратной связи;
- активное участие студентов в процессе обучения;
- признание большого влияния оценивания на мотивацию и самоуважение обучающихся;

- самооценка своих достижений.

Педагог в своей работе должен уметь использовать все виды оценивания и разнообразие их техник. При этом использование техник оценивания на занятиях не должно быть самоцелью преподавателя, а результаты оценивания должны быть направлены на достижение успехов в процессе обучения, служить для улучшения качества образования.

Компетентностный подход в преподавании математики ведет к повышению уровня образованности обучающихся, способствует достижению нового качества образования, на что и направлена программа его модернизации. Новое качество образования заключается в новых возможностях выпускников школы, в их способности решать проблемы, которые предыдущие поколения выпускников не решали.

Организация процесса математического образования заключается в создании условий для формирования у обучающихся опыта самостоятельного решения познавательных, коммуникативных, организационных, нравственных и иных проблем, составляющих содержание образования [7]. Порой полученные знания и умения не находят применения, медалист не выдерживает конкурсный экзамен, хорошо успевающий в школе ученик по окончании образовательного учреждения становится неуспешным в жизни. На наш взгляд, реализация компетентностного подхода позволит избежать таких ситуаций. Математические знания, умения и навыки эффективно используются в том случае, если человек обладает набором различных компетенций, не только предметных.

#### Список литературы

1. Аликова А. М., Керимканова У. А. К вопросу реализации компетентностного подхода в обучении математике // Молодой ученый. – 2017. – №4.1. – С. 12-16. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/138/39412/> (дата обращения 19.01.2019).
2. Беликов В.А., Романов П.Ю., Валеев А.С. Дидактика практико-ориентированного образования: монография. – М.: Инфра-М, 2018. – 267 с.
3. Великих А.С., Романов П.Ю., Романова Т.Е. Технологические аспекты реализации компетентностного подхода методом проектов // Современные проблемы науки и образования. – Пенза, 2016. – №2. – С. 221.
4. Зеер Э.Ф., Заводчиков Д.П. Практика формирования компетенций: методологический аспект // Формирование компетенций в практике преподавания общих и специальных дисциплин в учреждениях среднего профессионального образования: сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. / науч. ред. Э.Ф. Зеер. – Екатеринбург; Березовский: Филиал рос. гос. проф.-пед. ун-та в г. Березовском, 2011. – С. 5-10.
5. Москвина Е.А. Комплекс организационно-педагогических условий повышения эффективности математического образования студентов педагогического вуза // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – Тамбов, 2007. – Т.12. – Вып. 4. – С. 498-499.
6. Москвина Е.А. Методы и приемы доказательства неравенств при изучении математики на уровне среднего общего образования // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – Т. 2. – С. 87-89.
7. Москвина Е.А. Особенности моделирования содержания математического образования студентов педвузов в процессе их профессиональной подготовки // Вестник ЧГПУ. – Челябинск, 2007. – № 2. – С. 20-28.
8. Москвина Е.А. Практическая направленность в изучении математики в средней общеобразовательной школе // Тенденции и инновации современной науки: материалы Всероссийской науч.-технич. конф. – Трехгорный: ТТИ НИЯУ МИФИ, 2014. – С. 143-147.
9. Инновационные образовательные технологии как средство оптимизации профессиональной подготовки будущего специалиста / Н.Я. Сайгушев, П.Ю. Романов, О.А. Веденева, Р.Р. Тураев, Ю.Б. Мелехова // Современные проблемы науки и образования. – Пенза, 2016. – № 5. – С. 241.
10. Хуторской А. В. Технология проектирования ключевых и предметных компетенций // Электронный журнал Эйдос. – Режим доступа: <http://www.eidos.ru/journal/2006/0505.htm> (дата обращения 19.01.2019).

#### Сведения об авторах

**Москвина Елена Алексеевна** – канд. пед. наук, доц. каф. прикладной математики и информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [e.moskvina-magtu@mail.ru](mailto:e.moskvina-magtu@mail.ru)

**Мухаметкужина Эльмира Нуровна** – бакалавр, каф. прикладной математики информатики, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск. E-mail: [elmirka25@yandex.ru](mailto:elmirka25@yandex.ru)